van Bow. Baarn

EXPERIMENTEELE RADIO-OMROEP OP EEN GOLF-LENGTE VAN 7.85 METER TE AMSTERDAM

door

Ir. P. J. H. A. NORDLOHNE
Natuurkundig Laboratorium der N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven

(Naar een Voordracht voor het Ned. Radio-Genootschap op 13 Februari 1932 te Amsterdam)

Inleiding.

Van November 1930 tot en met October 1931 heeft het Natuurkundig Laboratorium van de N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven proefnemingen gedaan met radio-omroep op een golflengte van 7.85 m., aanvankelijk te Eindhoven, sedert April 1931 te Amsterdam.

Een officieele aankondiging hiervan werd gedaan door Dr. Balth. van der Pol in diens rede voor de 1e Alg. Verg. van het XXIIIste Ned. Natuur- en Geneeskundig Congres 1931, getiteld: De ontwikkeling van de radio-telefonie in de laatste jaren, welke rede afgedrukt is in het weekblad „De Ingenieur" 1931, No. 17, Alg. gedeelte. Ook de dagbladpers heeft uitvoerig hierover bericht.

Deze proefnemingen hadden ten doel na te gaan in hoeverre deze of een dergelijke korte golflengte bruikbaar was voor *plaatselijken* omroep. Plaatselijk zou deze omroep blijven omdat:

1°. trillingen van zoo hooge frequentie (van de orde van 40.000 kp/s) door de Kennelly-Heaviside laag niet meer naar de Aarde gereflecteerd worden;

2°. de directe stralen de kromming van het Aardoppervlak niet of slechts zeer weinig kunnen volgen.

Het ontbreken van door de hoogere atmosfeer gereflecteerde stralen (de z.g. indirecte stralen) heeft het voordeel dat van fading en de daarmede vaak gepaard gaande vervorming geen sprake kan zijn. De deugdelijkheid der verbinding is dus ten allen tijde dezelfde en derhalve betrouwbaar; zij is slechts afhankelijk van de plaatselijke situatie. De ervaring heeft voorts vastgesteld, dat op kortere afstanden van eenige kilometers, waar het bij plaatselijken omroep om gaat, de toestand van de lagere atmosfeer geen rol speelt.

Het onderzoek naar de bruikbaarheid van een dergelijke korte golflengte voor plaatselijken omroep omvatte uit den aard der zaak een studie van de *zendapparatuur*, van de *transmissie* en van de *ontvangmiddelen*, welke hier afzonderlijk bezien zullen worden.

Voor zoover bekend zijn de Philips-proeven de eerste van dit soort welke in Nederland werden verricht, maar in het buitenland zijn reeds veel eerder onderzoekingen verricht over het gebruik van ultrakorte golven.

Dunmore en Engel [1]) hebben reeds in 1923 bericht over proefnemingen op een golflengte van 10 meter en vestigen de aandacht op het vrijwel geheel afwezig zijn van atmosferische storingen.

Wells [2]) berichtte in 1925 over proeven, door de Marconi Cy in 1922 en volgende jaren genomen met een golflengte van 4 à 6 meter bij Inchkeith.

Bekend zijn ook de Fransche proeven vanaf den Eifeltoren, welke gepubliceerd zijn door Beauvais en Mesny [3]) in 1927, alsmede de publicatie van Jouaust en Beauvais [4]) betreffende proeven tusschen Fort de la Rève bij Nice en de Col de Téghine op Corsica, waarbij een golflengte van 5 meter werd gebruikt. Laatstgenoemde onderzoekers hebben een 30 % grootere afstandswerking waargenomen over zee dan met het oog op de aardkromming verwacht kon worden; zij merkten verder een sterke afhankelijkheid op van de veldsterkte al naar gelang de toestand van de lagere atmosfeer, welke een kimduiken of -rijzen tengevolge kan hebben.

Zeer uitgebreide proeven zijn eenige jaren geleden genomen door de Radio Corporation of America [5]) waarbij de gebruikte frequentie 30.000 à 60.000 kp/s bedroeg. Deze proeven leidden tot een radiotelefonische verbinding van eilanden der Hawaii-groep, waarbij 200 mijl overbrugd worden met een golflengte van 8 meter, zoodanig dat deze verbinding in het internationale radiotelefoonnet kan worden opgenomen. De zend- en ontvang-

posten zijn hierbij op hooge heuvels of bergen opgesteld. De verbinding werd daarom radiotelefonisch gemaakt, omdat deze eilanden van elkaar zijn gescheiden door zeer diepe zeeën, welke het leggen van kabels bezwaarlijk maakten.

Ook met vliegtuigen werden proeven genomen, alsmede met het richting bepalen van een veerboot over den Hudson bij mistig weder, welke proeven uitstekend geslaagd zijn. Voorts wordt in verband met deze laatste proeven de aandacht gevestigd op de mogelijkheid van plaatselijken radio-omroep mits men de zender-antenne een hooge opstelling geeft.

Interessante proeven zijn ook die van Gerth en Scheppmann [6]), in 1929 genomen in vliegtuigen en vanaf den Brocken in den Hartz.

Ik vestig voorts de aandacht op interessante proeven in de buurt van Salzburg welke door Dr. Schaeringer zijn genomen en welke, voor zoover mij bekend, niet gepubliceerd werden.

Van groot belang zijn de onderzoekingen van Prof. Dr. A. Esau [7]) van het Physikalisches Institut te Jena, waarschijnlijk de eerste die de golflengten beneden 10 meter systematisch onderzocht op hun bruikbaarheid voor omroepdoeleinden in groote steden, waartoe reeds in 1929 te Chemnitz proeven werden genomen, welke in 1930 herhaald werden met behulp van een door de C. Lorenz A. G. gebouwden meertraps-zender, welke later in het jaar naar Berlijn werd verplaatst, waarna in samenwerking met den Reichspost aldaar de proeven werden voortgezet. Ook heeft Esau reeds vroeg proeven genomen met ultra-korte golven voor een verbinding van het locomotief-personeel van een langen goederentrein met den conducteur in den laatsten wagen daarvan.

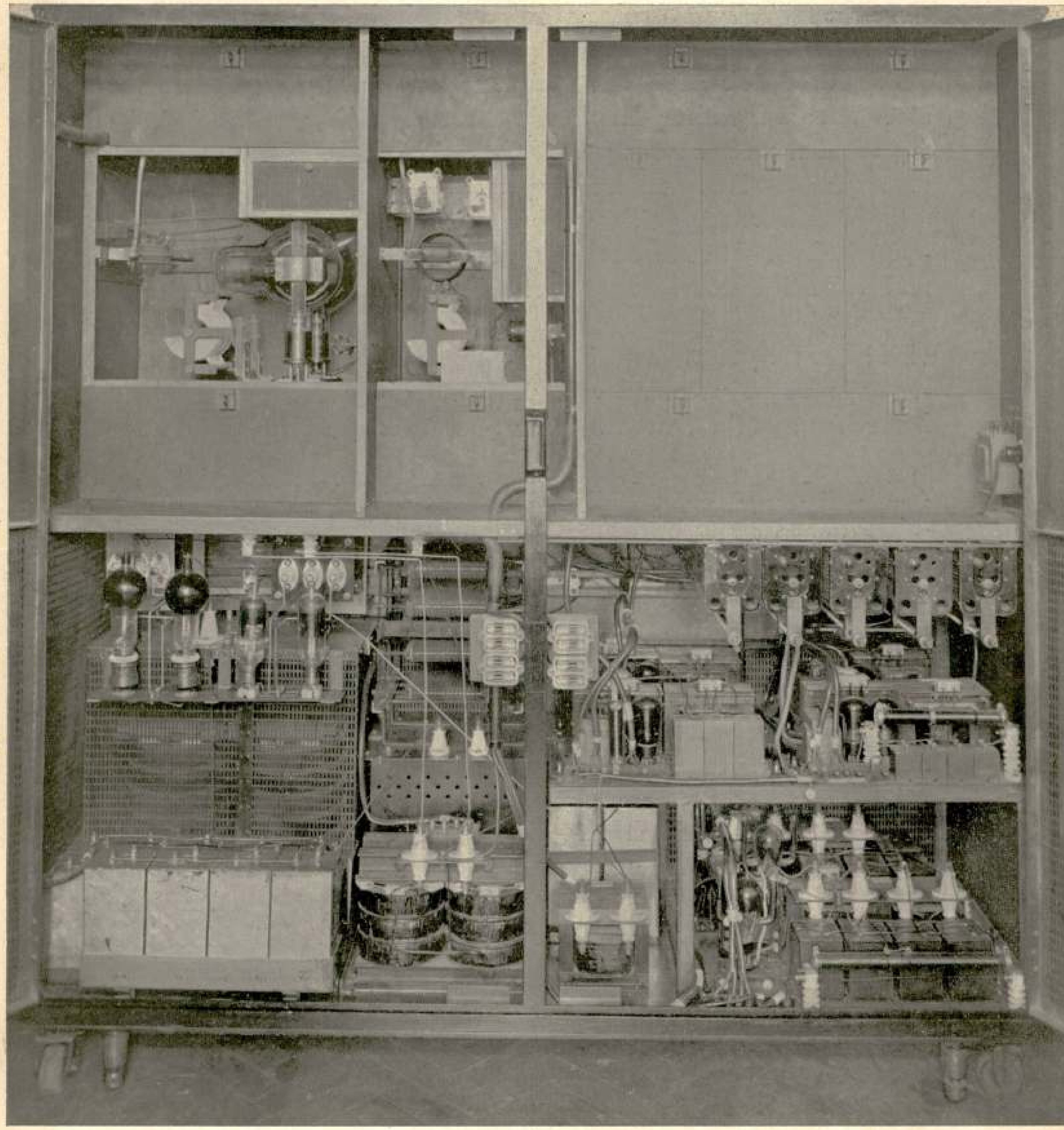
Van 1930 dateeren ook de proeven van Telefunken te Berlijn waarover Dr. F. Schroeter [8]) meerdere publicaties het licht deed zien. Behalve voor gewonen omroep wordt door Schroeter de bijzondere geschiktheid van ultra-korte golven voor televisie belicht, eenerzijds door de mogelijkheid van een breede frequentieband te bezetten, anderzijds door de afwezigheid van fading en dus in het bijzonder ook van selectieve fading.

De proeven te Amsterdam van het Philips' laboratorium hebben bevestigd dat plaatselijke omroep op een ultra-korte golflengte van 7 à 8 meter zeer goed mogelijk is met eenvoudige ontvangers en met een zender van $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ k.w. antennevermogen; dat deze omroep uiterst betrouwbaar is en uitmunt door een

absoluut stillen „achtergrond" wegens het totaal ontbreken van atmosferische storingen, ook op tijden dat de gewone omroepstations door deze storingen ongenietbaar zijn geworden. Ook vele andere plaatselijke storingen hebben veel geringer uitwerking.

Slechts vele typen automobielen kunnen tijdens het voorbijrijden kortstondige storing veroorzaken, hetgeen te wijten is aan een breed spectrum van gedempte trillingen, ingeleid door de ontstekingsvonken van de bougie's, waarbij de bougiedraden en de leidingen naar den onderbreker als antenne's fungeeren. Deze storingen zijn gewoonlijk tot op een afstand van 20 meter van de automobiel waarneembaar. In de binnenstad treden zij uit den aard der zaak veelvuldiger op dan in de buitenwijken, maar daar staat tegenover dat in de binnenstad de terugkoppeling van het ontvangtoestel zoo weinig kritisch behoeft te worden ingesteld, dat veelal van deze storingen niets bemerkbaar is. Zoo was het mogelijk in een gelijkvloersche kamer aan het Damrak geheel storingsvrije ontvangst te verkrijgen met goede luidsprekersterkte, ondanks het zeer drukke autoverkeer aldaar. In dit opzicht trouwens gedragen zich de verschillende automobielmerken zeer verschillend: de nieuwe Ford b.v. stoort bijna in het geheel niet, dank zij ongetwijfeld de bijzonder korte strippen van de bougie's naar den onderbreker. In dit verband kan nog vermeld worden, dat het met zeer eenvoudige middelen mogelijk is deze storingen geheel te vermijden, n.l. door het plaatsen van weerstandjes van 10.000 Ohm. tusschen bougie's en bougieleidingen en bij den onderbreker. Soms is een weerstand bij den onderbreker al voldoende. Wij zijn er b.v. in geslaagd met één zoo'n weerstandje de storing van een Fordwagen geheel weg te nemen, althans zoo te onderdrukken dat deze nagenoeg niet meer waar te nemen was met een zeer gevoelig ingestelden superheterodyne-ontvanger, welke met een daarbij behoorende antenne op ongeveer 3 meter afstand van de automobiel was opgesteld.

In het algemeen kan dus gezegd worden dat de automobielstoringen het hinderlijkst zijn in de buitenwijken waar de ontvanger gevoeliger moet worden ingesteld en de verhouding storing-signaal grooter wordt; een nu en dan voorbijgaande auto veroorzaakt dan soms een laag getimbreerde roffel van zeer kortstondigen duur en in zijn karakter lang niet zoo hinderlijk als een atmosferische storing; in achterkamers is de storing meestal reeds belangrijk zwakker.



Figuur 1.
Achteraanzicht van den zender.

De zendapparatuur.

De eerste opgave was natuurlijk een zender te construeeren welke qualitatief niets te wenschen zou overlaten, ook om ons in staat te stellen goede ontvangers te maken. Bij het construeeren van ontvangers moest geen twijfel kunnen bestaan aan de goede kwaliteit van de emissie. Daar te voorzien was, dat op grootere afstanden vrij kritische terugkoppeling noodig zou kunnen zijn, en anderzijds rekening moest worden gehouden met het plan voorzetapparaten te ontwikkelen voor superheterodyne-ontvangst in combinatie met selectieve omroepontvangers, is een der grondgedachten geweest de vermijding in de allereerste plaats van frequentiemodulatie, en is van den aanvang af tot kwartssturing besloten.

Verder was het gewenscht, met het oog op kleine te verwachten beschikbare ruimte, den zender zoo beknopt mogelijk te bouwen, en zoo mogelijk machines te vermijden. Dit leidde tot den bouw van een zender welke geheel met wisselstroom gevoed wordt; de benoodigde gelijkstroom wordt verkregen met behulp van gelijkrichters. Ook watergekoelde trioden moesten om diezelfde reden worden geweerd, daar deze terstond een aanzienlijk grootere ruimte vergen. Voor de eindtrap viel toen de keuze op twee groote luchtgekoelde schermroosterzendlampen.

Daar de ervaringen met piëzo-kristallen van frequenties van de orde van 5.000 à 10.000 kp/s niet onverdeeld gunstig waren, werd uitgegaan van een voorhanden kwartskristal van ca. 2397 kp/s, zoodat na viermaal frequentie-verdubbelen een eindfrequentie kon worden verkregen van ca. 38.400 kp/s, overeenkomende met een golflengte van ca. 7.85 m.

Het gebruik van turmalijn-kristallen was destijds nog niet bekend, anders zou zeker overwogen zijn een kristalfrequentie van de orde van 10.000 à 20.000 kp/s.

Het spreekt vanzelf, dat getracht werd zooveel mogelijk gebruik te maken van schermrooster-zendlampen, daar bij gebruik daarvan eenerzijds het groote voordeel ontstaat van niet te behoeven neutrodyniseeren, anderzijds het stuurvermogen van zulke lampen geringer behoeft te zijn dan bij een triode; een schermroosterlamp toch paart een uiterst geringe anodeterugwerking aan een groote roosterruimte, d. w. z. bij een triode met even grooten versterkingsfactor (groote versterkingsfactor is voordeelig met het oog op geringe anodeterugwerking) begint bij

gelijke excitatie veel eerder roosterstroom te vloeien dan bij een tetrode.

Besloten werd de eindtrap te voorzien van 2 stuks Philips-tetroden QB 3/500 en de daaraan voorafgaande trap van 2 stuks QB 2/75. Deze tetroden hebben gethorieerde gloeidraden en kunnen bij langere golven 500 resp. 75 watt nuttige energie leveren. De interelectrodencapaciteiten van deze lampen zijn zeer gering en zijn hieronder in een tabel vermeld.

Capaciteit in c.m.	QB 3/500	QB 2/75
C_{ag}	0.01	0.022
C_{af}	8.9	6.3
C_{gf}	16	9.1

Bij den bouw van den zender waren geen geschikte kleinere zendtetroden beschikbaar, zoodat de voorafgaande trappen niet met de inmiddels uitgebrachte QC 05/15 maar met gewone kleine trioden zijn uitgerust, n.l. met TC 04/10 en TC 03/5, beide oxydkathodelampen voor 10 resp. 5 watt nuttige energie bij het gebruik van langere golven.

In totaal telt de zender 7 trappen.

De 1e trap bevat een TC 03/5 en het piëzokristal voor 2397 kp/s.

De 2e trap verdubbelt de frequentie en bevat 2 stuks TC 03/5. De excitatie van deze twee trioden is zoodanig dat geen roosterstroom vloeit, zoodat bij eventueele geringe terugwerking door modulatie van een der volgende trappen de kristaltrap geen belastingsverandering ondergaat. Behalve dat deze trap de frequentie verdubbelt, werkt zij dus ook als buffer, en vermag dus slechts zeer weinig energie af te geven aan de 3e trap.

In deze 3e trap wordt de frequentie nog eens verdubbeld. Ook hier zijn 2 stuks TC 03/5 opgesteld.

De 4e trap is een versterkertrap en benut eveneens 2 stuks TC 03/5.

De 5e trap, waarin 2 stuks TC 04/10 zich bevinden, verdubbelt de frequentie voor de derde maal. Deze trap wordt tevens gemoduleerd en wel wordt de anodespanning gemoduleerd met behulp van een Philips 50 watt-versterker met aan



Figuur 2.
Achteraanzicht van den zender.
Schermen weggenomen.

deze trap aangepasten uitgangstransformator. Zulk een 50 watt-versterker, welke geheel met wisselstroom wordt gevoed, wordt gestuurd door een microfoon-gramofoonversterker waaraan zonder meer een gramofoonopnemer en drie microfoons kunnen worden aangesloten. Behalve door een klein plaatspanningsapparaat wordt deze versterker gevoed door een zes volts accumulator, de eenige gelijkstroombron welke voor den zender gebruikt is.

De trappen 2 tot en met 5 zijn alle geneutrodyniseerd, hetwelk ook bij frequentieverdubbeling noodzakelijk is. De frequentieverdubbeling komt tot stand door sterke distorsie van den anodestroom, waaruit de tweede harmonische gefilterd wordt.

De 6^{e} trap, welke, zooals reeds werd opgemerkt, van 2 stuks schermroosterlampen QB 2/75 is voorzien, versterkt de gemoduleerde energie lineair en stuurt hiermede de laatste trap.

Deze 7^{e} trap bevat de eindlampen, 2 stuks QB 3/500; behalve dat in deze trap het vermogen op het eindniveau wordt gebracht, wordt hierin tevens de frequentie voor de laatste maal verdubbeld.

Elke trap is in een afzonderlijk koperen vak ingebouwd, terwijl de meetinstrumenten met filters enz. per trap wederom in afzonderlijke koperen vakken zijn ondergebracht. Een koperen plaat scheidt het hoogfrequente gedeelte van den zender van het zich daaronder bevindende laagfrequente gedeelte, dat dus de transformatoren, gelijkrichters, laagfrequentfilters, enz. bevat.

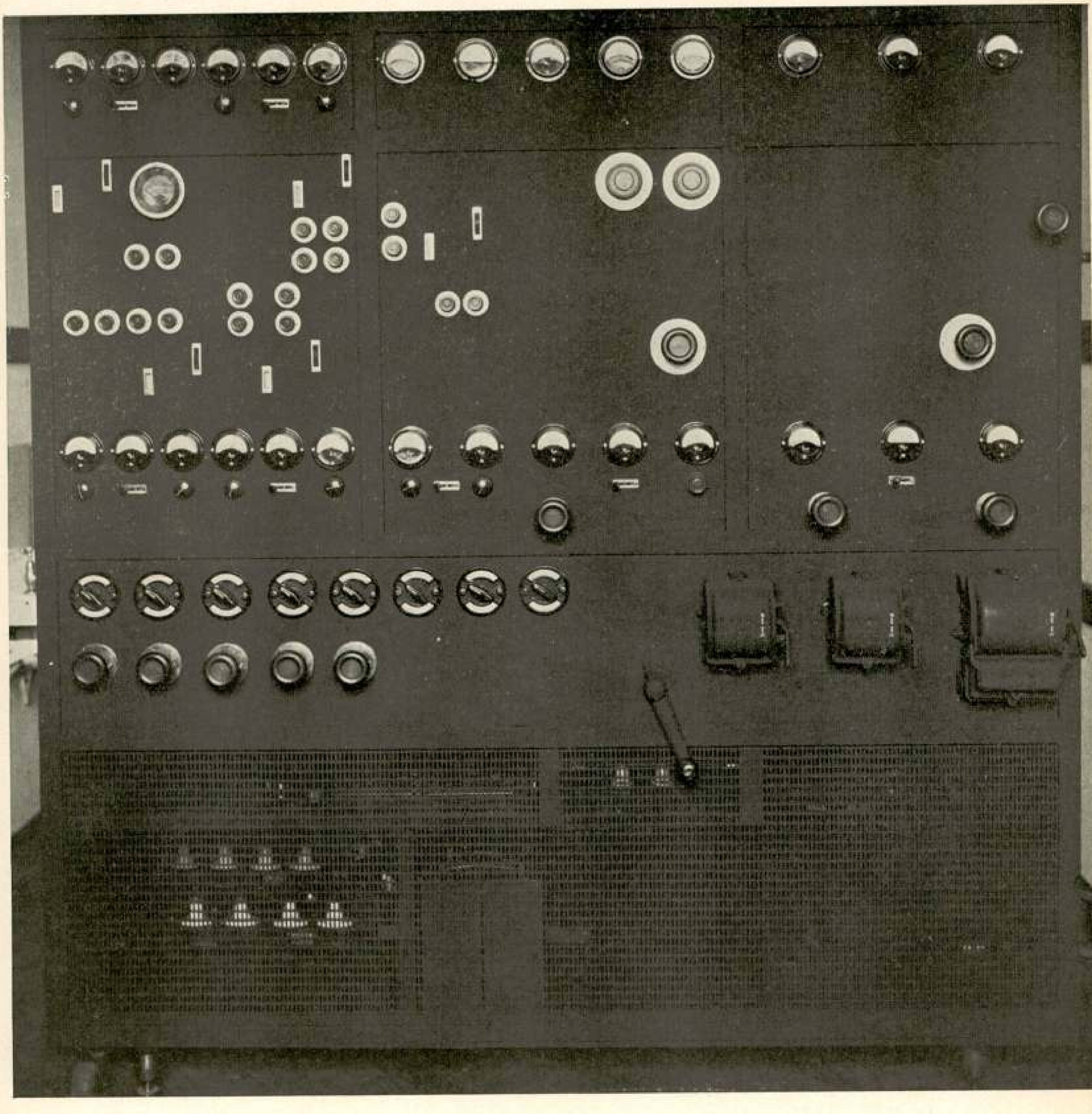
Van alle trappen worden anodegelijkstroom, roostergelijkstroom, anodegelijkspanning, gloeispanning, en, voor zoover betreft de beide laatste trappen, schermroosterspanning gemeten. Er is slechts één thermo-ampèremetertje aangebracht, en wel in de anodetrillingskring van de 1e trap. Een tweede thermo-ampèremeter bevindt zich buiten den zender, gekoppeld met de toevoerleidingen naar de antenne.

De geheele zender is ondergebracht in een ijzeren frame, breed 1.90 M., diep 0.70 M., hoog 2 M.; het onderste deel daarvan is bedekt met geperforeerd plaatijzer; het bovendeel is bedekt met koperplaat, resp. kopergaas. De achterkant bestaat uit twee deuren; worden deze geopend dan valt alle hoogspanning uit. Door het openen van deze deuren verkrijgt men toegang tot den zender (Fig. 1), voor zoover de eerste 5 trappen betreft, na verwijdering van koperen schermplaten (Fig. 2). Het bovendeel van de frontzijde (Fig. 3) is van koper: hierop zijn gemonteerd de verschillende meetinstrumenten, afstemknoppen, schakelaars enz.

Alle gloeidraden, ook die van de 1[e] trap, worden gevoed met wisselstroom en alle plaatspanningen en roostervoorspanningen worden verkregen met behulp van gelijkrichters, waarbij kleine hoogvacuum-dioden met oxydkathoden, en, voor de beide laatste trappen, kwikdampdioden met oxydkathoden worden gebruikt. Dat ondanks deze algeheele wisselstroomvoeding geen spoor van brom optreedt, is in de eerste plaats te danken aan het gebruik van het kwartskristal, daar men zonder dit direct brom door frequentiemodulatie krijgt; in de tweede plaats is het te danken aan de nauwgezette filtering der plaat- en roosterspannings-gelijkrichters. Deze goede laagfrequent filters zijn voor de eerste 5 trappen met goedkoope middelen te maken daar hier slechts van geringe stroomen en spanningen sprake is. De filtering dezer trappen moet ook daarom superieur zijn, omdat de modulatiediepte van een brom bij iedere frequentieverdubbeling toeneemt. De oorzaak hiervan is de groote vereischte roostervoorspanning der lampen in frequentieverdubbelingstrappen.

Om dezelfde reden echter behoeft voor 100 % modulatiediepte van de eindtrap het rooster van elke voorafgaande frequentieverdubbelende trap veel minder dan 100 % gemoduleerd te worden. Het rooster van de 7[e] trap, een frequentieverdubbelende trap, zal b.v. x % gemoduleerd behoeven te worden voor 100 % modulatie van de anode-energie. Derhalve behoeft ook het rooster van de lineairversterkende 6[e] trap slechts x % gemoduleerd te worden. De 5[e] trap is, zooals gezegd, een frequentieverdubbelaar waarvan de anodespanning wordt gemoduleerd. Wegens zijn frequentieverdubbelende eigenschap behoeft de anodespanning van deze trap slechts y % gemoduleerd te worden voor 100 % modulatie van de anode-energie, en daarmede van de roosterspanning van de 6[e] trap. Daar deze laatste echter, met het oog op de 7[e] trap, zooals wij gezien hebben, slechts x % gemoduleerd behoeft te worden, volgt hieruit, dat de anodespanning van de 5[e] trap slechts xy % moet worden gemoduleerd voor 100 % modulatie van de antenne-energie. Het product xy is van de orde 25 à 40; een zoo geringe modulatiediepte van de anodespanning van de 5[e] trap is gemakkelijk lineair mogelijk.

Aangezien vóór trap 5 de frequentie nog tweemaal verdubbeld wordt zal het duidelijk zijn, dat steeds hoogere eischen moeten worden gesteld aan de laagfrequentfilters, naarmate men de eerste trappen van den zender nadert. Wij hebben den zender eens 100 % gemoduleerd door enkele procenten modulatie van



Figuur 3.
Vooraanzicht van den zender.

de 2e trap, maar konden een goede kwaliteit op den duur toch niet vasthouden, daar de minste verandering van de netspanning een betrekkelijk groote verandering van de instelling van alle volgende trappen noodzakelijk maakte, hetgeen bij het gebruik van gelijkrichters niet zoo eenvoudig is. Om de zaak niet noodeloos moeilijk te maken is daarom besloten de 5e trap te moduleeren, hetgeen nog zeer eenvoudig kon geschieden en geen instellingsmoeilijkheden van belang geeft bij de gewone netspanningsschommelingen.

Om nu twee TC 04/10 ca. 25 à 40 % te moduleeren heeft men natuurlijk geen 50 watt-modulator noodig; een 25 wattversterker (input) zou voldoende geweest zijn.

De anodekring van trap 7 ziet er in zoover eigenaardig uit, dat de anodekring schijnbaar gevormd wordt door serieschakeling van een zelfinductiebeugel en een betrekkelijk grooten variabelen condensator. In werkelijkheid echter wordt de anodekring gevormd door de zelfinductiebeugel en de inter-electrodencapaciteiten der lampen. De variabele condensator is een fijnregeling van de zelfinductiezijde van de kring; hij verkleint de zelfinductie van de kring en moet dus zoo groot mogelijk zijn; aan de andere kant moet hij klein genoeg zijn om de afstemming met de noodige souplesse te kunnen verrichten. Zoo'n condensator in serie met de zelfinductie van de kring leidt tot veel hoogere kringimpedantie's dan een parallel-condensator met zijn lange toevoerleidingen en groote afmetingen en daardoor groote nulcapaciteit. En een groote moeilijkheid bij ultrakorte golven is toch het verkrijgen van groote impedantie's van roosteren anodekringen. Behalve dat de impedantie bij het gebruik van een parallelcondensator al gering zou worden op zichzelf, wordt de effectieve waarde daarvan nog veel geringer zoodra de antenne ermede gekoppeld wordt. Het rendement van de eindtrap blijft ondanks alle voorzorgen gering, omstreeks 20 à 25 %.

De antenne is een koperstaaf ter lengte van een halve golflengte. Zij is door middel van eenige isolatoren bevestigd op een plank, welke op zijn beurt weer bevestigd is aan een houten mast, door tuien, onderverdeeld met isolatoren, overeind gehouden. Nabij de stroombuik is een thermo-ampèremeter los met de antenne gekoppeld. Deze thermo-ampèremeter doet dienst bij het opzoeken van de gunstigste koppeling van antenne met toevoerleidingen. Is deze gunstigste koppeling eenmaal gevonden dan doet hij verder geen dienst meer, daar de aanwijzing van een met de toevoerleidingen gekoppelden thermo-ampèremeter

een maat wordt voor den antennestroom. De toevoerleidingen zijn galvanisch met de antenne gekoppeld en inductief met de anodekring der eindtrap.

Daar de mast op het hoogste punt van het Carlton Hôtel is opgesteld (de toren uitgezonderd) komt het midden van de verticale antenne ongeveer 45 meter boven het straatniveau.

De zender zelf bevindt zich in een kamertje op de bovenste verdieping van het hôtel, zoodat de toevoerleidingen van zender naar antenne, de z.g. antennefeeders, ongeveer 20 meter lang zijn.

De beoordeeling van de kwaliteit van den zender is in den beginne niet onverdeeld gunstig geweest, ondanks het feit, dat een in de onmiddellijke nabijheid opgestelde contrôle-ontvanger uitstekende kwaliteit gaf, en frequentiemodulatie uitgesloten kon worden geacht, evenals vervorming door fading.

De oorzaak hiervan was de gebrekkige constructie der gebruikte ontvangers welke bijzondere voorzorgen noodig maakten, zooals in het volgend hoofdstuk zal blijken. Naarmate deze ontvangers beter werden, bleek meer en meer dat de zender in kwaliteit in geen enkel opzicht onderdoet voor de betere omroepzenders van den gewonen omroep.

De ontvangmiddelen.

Wij zullen de belangrijke tusschenschakel, de transmissie, voor het laatst bewaren en thans een en ander mededeelen over de ontvangmiddelen.

Allereerst dient men zich af te vragen, welke typen van ontvangers in aanmerking komen en of zekere typen bepaalde voordeelen hebben voor ultrakortegolfontvangst. Voorloopig is vrijwel uitsluitend gedacht aan voorzetapparaten, welke in combinatie met gewone omroeptoestellen, complete ontvangers voor ultrakortegolven vormen.

Het eenvoudigste is een teruggekoppelde detectorlamp, waarvan de roosterkring afgestemd is op de ultrahooge frequentie en waarvan de output wordt toegevoerd aan de gramofoonaansluitklemmen van den omroepontvanger, waarvan dus uitsluitend de laagfrequentversterker wordt gebruikt. Dit eenvoudige en goedkoope voorzetapparaat voldoet nog op een afstand van den zender van 1 à 2 km. bij het gebruik van een kamerantenne van ca. 3 meter lengte in een gelijkvloersche kamer.

Gevoeliger is superheterodyne-ontvangst, waarmede nog goede ontvangst mogelijk is tot op 4 à 5 km., onder dezelfde omstandigheden.

Men kan op veel grootere afstand nog zeer luide ontvangst verkrijgen maar dan wordt het eigengeruisch der versterkerlampen (Schroteffect) hinderlijk.

Bij superheterodyne-ontvangst transformeert men de frequentie in het voorzetapparaat in een frequentie van het normale omroepgebied. De output van het voorzetapparaat wordt dan geleid naar de antenne- en aardeklemmen van het omroeptoestel, zoodat daarvan zoowel het hoogfrequente versterkergedeelte als het laagfrequentversterkergedeelte worden gebruikt.

Bij superregeneratieve ontvangst stelt het ruischen der lampen ongeveer dezelfde grens aan de afstandswerking, maar een groot voordeel is de eenvoud van de bediening door het weinig kritisch zijn van de afstemming, alsmede het afwezig zijn van z.g. handeffect.

Dit handeffect is een der ernstige moeilijkheden van alle ultrakortegolf-ontvangst. Losse koppeling van de antenne, afscherming en lange geïsoleerde assen op afstem- en terugkoppelorganen zijn noodzakelijk om dit effect te vermijden.

De antennekoppeling moet zoo los zijn, dat zij practisch geen invloed heeft op de afstemming van de apparatuur en nagenoeg geen demping van die kring veroorzaakt. Dit is noodig omdat men gewoonlijk met kritisch teruggekoppelde detectorlamp moet werken en een beïnvloeding van de antenne-eigenfrequentie door het menschelijk lichaam nu eenmaal onvermijdelijk is. Is de antenne te vast gekoppeld dan beïnvloedt de nabijheid van het lichaam de terugkoppeling en de afstemming en is behoorlijke ontvangst niet mogelijk, tenzij de veldsterkte zoo groot is (afstand 1 à 2 km.) dat geen kritische terugkoppeling noodig is.

De afscherming moet goed zijn opdat de afstemmende hand geen invloed uitoefene op de eigenfrequentie en de demping van de afgestemde kring; hetzelfde geldt voor de lange afstemassen. Nu is een goede afscherming niet zoo eenvoudig als dit met langere golven gewoonlijk het geval is, en wel door de afwezigheid van een gedefinieerd aardingspunt van het voorzetapparaat. De aardleiding toch is minstens eenige meters lang en heeft dus een lengte van de orde van een of meerdere kwart golflengten. Men kan alleen een goede Aarde verkrijgen als men zorgt dat de afschermkast in een stroombuik ligt, en dan nog is het aardpunt niet volkomen gedefinieerd daar reeds over de lengte of breedte van de afschermkast een spanningsverdeeling plaats vindt. Losse antennekoppeling is ook hier een middel dat practisch voldoende resultaten pleegt te geven.

Daar de antennekoppeling een zekere betrekkelijk geringe waarde niet mag overschrijden, en, afhankelijk hiervan ook de terugkoppeling, moet voor een verlangde werkingssfeer het zendantennevermogen zich hiernaar richten.

Bij superheterodyne-ontvangst is het handeffect nog hinderlijker daar hier de frequentie van de oscilleerende lamp beïnvloed wordt, zoodat ook de getransformeerde frequentie hiervan afhankelijk is. Weliswaar kan men na afstemming van het voorzetapparaat daarna het omroeptoestel afstemmen bij het optreden van hinderlijk handeffect, maar dit is alleen gemakkelijk te doen, indien men met een eenknopsafstemming te doen heeft. Verder moet gezorgd worden, dat geen energie van ultrahooge frequentie in het omroeptoestel doordringt, daar anders het handeffect, zij het ook gewoonlijk in veel mindere mate, bestaan blijft. Dit komt dus neer op het aanbrengen van deugdelijke filters voor de ultrahooge frequentie tusschen voorzetapparaat en omroeptoestel. Ook dan dreigt nog het gevaar, dat door na-afstemming van het omroeptoestel, dit toevallig afgestemd blijkt op een krachtigen omroepzender van de gewone omroepfrequentie, zoodat men deze tevens ontvangt, indien niet gezorgd is voor zeer deugdelijke afscherming van het omroeptoestel en van de verbindingsleidingen van dit toestel naar het voorzetaparaat. Dan nog kan het voorkomen dat men een interferentietoon hoort van zulk een omroepzender met de getransformeerde frequentie: hierbij behoeft de omroepzender niet eens zoo heel krachtig te zijn. Het is daarom beter het voorzetapparaat zoo te construeeren, dat het niet noodig is het omroeptoestel bij te stemmen. Wanneer men de superheterodyne-ontvangst verkrijgt met een aparte generatorlamp, verdwijnen de moeilijkheden als men de overige voorzorgen neemt. De antenne kan dan vrij vast met de afstemkring van het voorzetapparaat worden gekoppeld, daar deze bij losse koppeling van het generatorgedeelte met antenne en/of afstemkring, geen invloed uitoefent op de eigenfrequentie van de generatorkring. Ook de detectie wordt in dit geval beter, daar het moeilijk is een oscilleerende lamp goede detectie-eigenschappen te geven, vooral bij een zoo hooge frequentie als hier het geval is. Het is natuurlijk noodig de gemeenschappelijke leidingen van generator- en detectorgedeelte (gloeidraad- en anodespanningsleidingen, enz.) degelijk te ontkoppelen voor de ultrahooge frequentie door middel van filtertjes.

Tenslotte heeft het superheterodyne-voorzetapparaat de onaangename eigenschap dat gedurende het eerste kwartier ongeveer

de frequentie verloopt, in hoofdzaak door het allengs warmer worden van de generatorlamp, en, in veel geringere mate, door het verhoogen in temperatuur van de onderdeelen van de afstemkring. Wij hebben dit kunnen constateeren door de generatorlamp buiten het toestel te plaatsen en dezen, dan wel de kring, te koelen met vloeibare lucht, waar de frequentie onmiddellijk op reageerde. Na een kwartier ongeveer is de temperatuur en daarmede de frequentie constant. Gebruikt men indirect verhitte lampen dan is het frequentieverloop veel grooter dan wanneer men direct verhitte lampen gebruikt, omdat de temperatuur van indirect verhitte lampen veel hooger wordt. Bovengenoemde waarde van een kwartier geldt voor indirect verhitte lampen. Gedurende dien tijd kan het frequentieverloop van de orde van 200 kp/s bedragen, d. i. ongeveer $^1/_2$ $^0/_0$. Toch zijn indirect verhitte lampen met het oog op brom door frequentiemodulatie noodzakelijk in een voorzetapparaat voor algeheele wisselstroomvoeding, zoodat men met dat kwartier tevoren inschakelen genoegen moet nemen.

Voor een superheterodyne-apparaat geldt nog meer dan voor een terugkoppelingsapparaat, dat vooral aan draaicondensatoren speciale eischen moeten worden gesteld: de as moet vrij zijn van torsie en speling; de condensator moet zeer fijn variabel zijn zonder op elkaar wrijvende metaaldeelen, zoodat een condensator met twee vaste platen en één bewegelijke plaat in de nabijheid van de vaste platen vrijwel onvermijdelijk is te achten. Ook de andere onderdeelen moeten robust en vormvast zijn. Bij teruggekoppelde toestellen moet men voorts vanzelfsprekend de meeste aandacht wijden aan constructies, welke zoo weinig mogelijk diëlectrische en Joule'sche verliezen hebben.

Uit het bovenstaande moge blijken, dat de ontvangst van ultrakorte golven van de orde van 7 à 8 meter speciale voorzorgen eischt, welke zich dringender laten gelden, naarmate de veldsterkte geringer wordt. Toch behoeft dit niet te leiden tot dure toestelletjes; men moet slechts rekening houden met moeilijkheden welke zich bij ontvangst van de gewone omroepgolven en zelfs van golven tot ca. 15 meter naar beneden niet of bijna niet voordoen, en een gevolg zijn van niet-stationnaire spanningsverdeeling en van de kleine reactansie van kleine strooicapaciteiten.

De transmissie.

Zooals reeds werd opgemerkt worden ultrakorte golven als waarvan hier sprake is door de Kennelly-Heaviside-laag niet

gereflecteerd. Men heeft echter waargenomen, dat dit niet meer het geval is voor golven boven 8 meter lengte. Toch kan bij wijze van freakverschijnsel ook bij golven van 5 à 8 meter lengte reflectie optreden, hetwelk blijkt uit het relaas der proefnemingen van de R. C. A.; deze reflecties waren echter zeldzaam en steeds van zeer korten duur (van de orde van een minuut). Zoo werden reflecties opgemerkt van hoogere harmonischen van Rocky-Point op 800 mijl afstand; de ontvanger was daarbij afgestemd op een golflengte van 5 à 6 meter. Op kortere afstand werden deze reflecties niet waargenomen.

Practisch echter kan men zeggen, dat niets van de Heaviside-laag terugkomt als de golflengte daalt beneden 8 meter, en heeft men dus uitsluitend rekening te houden met de directe stralen, zoodat de afstandswerking beperkt is en fading niet voorkomt. Deze afstandswerking blijft bovendien gering:

1⁰. wegens de groote absorptie;

2⁰. wegens de omstandigheid dat dergelijke stralen de kromming van het Aardoppervlak niet of nagenoeg niet vermogen te volgen, zoodat men van een horizon kan spreken, welke niet kan worden overschreden al verhoogt men de zend-energie ook nog zooveel.

Deze horizon hangt natuurlijk af van de hoogte van zend- en ontvangantenne boven het Aardoppervlak. De Fransche proeven tusschen de Rivièra en Corsica hebben intusschen geleerd, dat deze horizon in belangrijke mate kimduiking en -stijging kan vertoonen, afhankelijk van de toestand van de lagere atmosfeer.

Neemt men een oogenblik aan, dat de stralen de kromming van het Aardoppervlak in het geheel niet kunnen volgen, dan is, bij voldoende energie, de maximum te overbruggen afstand

$$D = 3{,}56\left(\sqrt{h_z} + \sqrt{h_o}\right)$$

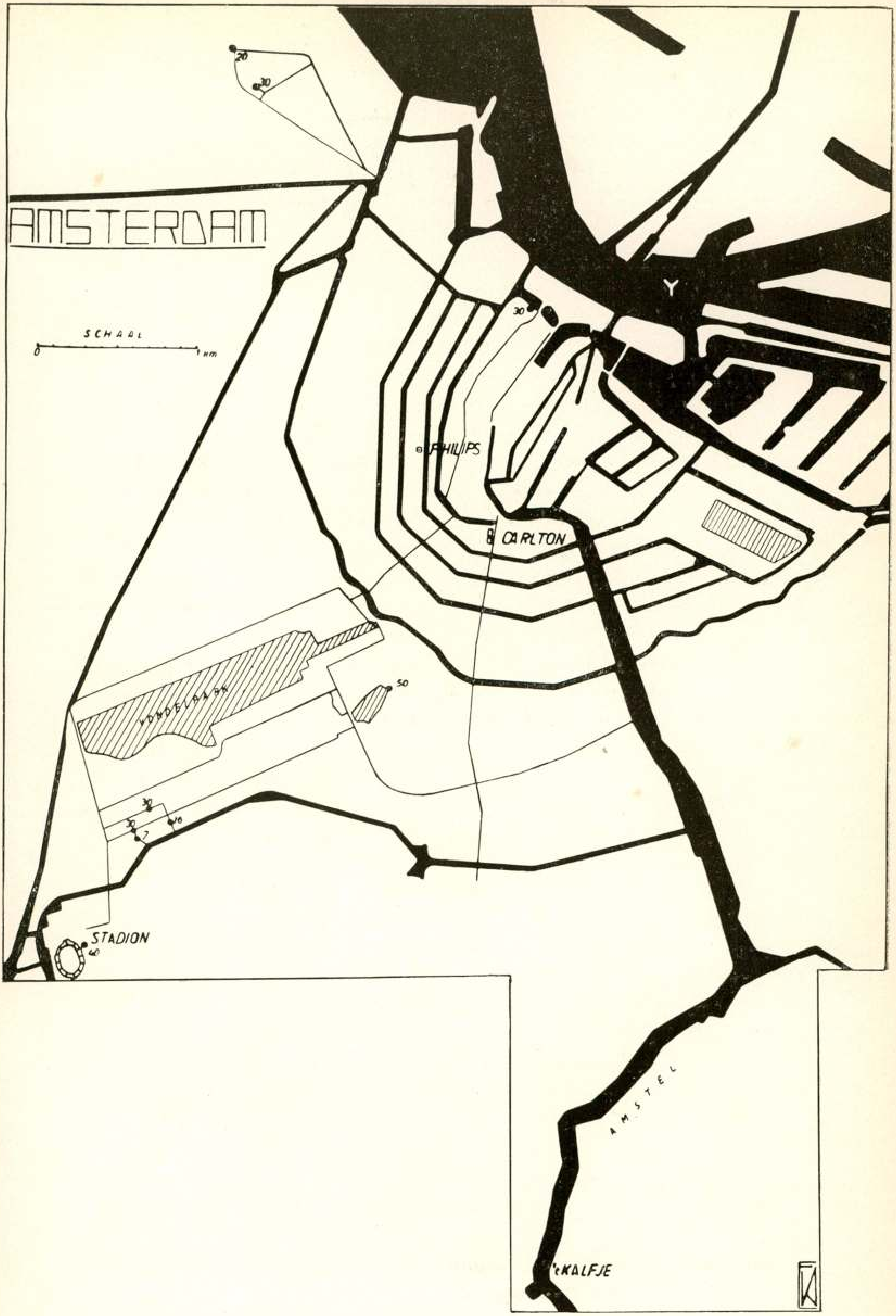
waarin

D = afstand zender en ontvanger in km.;

h_z = hoogte zendantenne in m.;

h_o = hoogte ontvangantenne in m.

Stelt men de hoogte van het midden van de dipool van den Philips-zender in het Carlton Hôtel op 45 meter boven het straatniveau en rekent men met een ontvangantenne van 10 m. hoogte, dan zou de afstandswerking ca. 35 km. bedragen (afgezien van absorptie), en zouden Utrecht en Leiden aan de grens van de werkingssfeer liggen.



Figuur 4.

Kaart van Amsterdam.

De getallen geven de output-volts in een ontvanger, als de zender bij „Philips" staat.

Alleen uit Haarlem en Heemstede (afstand ca. 18 km.) zijn enkele rapporten van ontvangst ingekomen.

Wat nu de absorptie in de stad betreft, deze bemerkt men al spoedig als men (zooals dezerzijds gedaan werd) de stad doorkruist met een ontvanger in een auto. Opvallend is dan de vermindering van veldsterkte als men vergelijkt die in een breede straat en die welke men waarneemt in een smalle zijstraat in de onmiddellijke nabijheid. Verschillende vergelijkende metingen zijn hiertoe verricht en eenige daarvan zijn op een kaart aangeduid (Fig. 4). (Zender in de Philips' Demonstratiezalen).

In het bijzonder zij hier vermeld een meting in de Philips' Demonstratiezalen aan de Heerengracht, op een afstand van ca. 900 meter van den zender (in het Carlton Hôtel) en wel gemeten in een gelijkvloersch lokaal, en een meting in en bij de uitspanning „Het Kalfje" aan de Amstel, op een afstand van ca. 6 km. van den zender.

PLAATS	Volts output van ontvanger
Heerengracht	37,5
Kalfje, gelijkvloersch . . .	2,5
id. 1e verdieping . . .	4
id. id. achterin	2
id. buiten, bij de Amstel	12 à 14

Merkwaardig is de enorme stijging van de veldsterkte bij verplaatsing van het ontvangtoestel naar den oever van den Amstel, slechts door wegbreedte van de uitspanning verwijderd.

Schroeter heeft een globale omslagrekening gemaakt van de absorptie te Berlijn door te vergelijken wat men zonder absorptie zou mogen verwachten aan veldsterkte, en wat men inderdaad vindt; hij komt dan tot een absorptie van 1 neper per halve kilometer door de golven in de huizenmassa afgelegden weg, hetgeen overeenkomt met het afnemen van het veld door absorptie tot op $^1/_{10}$ bij doorschrijding van 1 km. huizenmassa.

Men kan deze absorptie verminderen, door te zorgen voor een zoo hoog mogelijk opgestelde zendantenne, terwijl het natuurlijk van evenveel belang is ook de ontvangantenne op het dak op

te stellen. Bij de ontvangantenne moet voorts gezorgd worden voor een invoerdraad, welke zoover mogelijk van de gevel verwijderd blijft, en voor een deugdelijken en capaciteitsarmen doorvoerisolator. Tenslotte is de juiste lengte van de ontvangantenne van groot belang; men dient deze met een draad in de kamer, dan wel met een antenneverlengspoeltje een geschikte stroom- en spanningsverdeeling te geven, voor een juiste koppeling met het ontvangtoestel.

In verband met de transmissie-eigenschappen van deze korte golven, doch overigens geheel onafhankelijk daarvan, moge nog het volgende medegedeeld worden.

Van verschillende zijden [9, 10]) is voorgesteld de moeilijkheden met superheterodyne-ontvangst te vermijden door niet elken ontvanger te voorzien van den hiervoor noodzakelijken generator, doch inplaats hiervan één gemeenschappelijken generator te maken, een zender dus van groot vermogen, welke een frequentie krijgt die 200 à 1500 kp/s verschilt met dien van den omroepzender. Of wel men stelt zich voor den omroepzender te moduleeren met 200 à 1500 kp/s welke modulatie-frequentie op haar beurt laagfrequent gemoduleerd wordt.

Beide methoden, hoe aantrekkelijk zij ook schijnen mogen, gaan echter mank aan kwantitatieve tekortkomingen, zooals de volgende berekening moge aantoonen. Nemen wij hiertoe als uitgangspunt de ontvangst zooals die herhaaldelijk door ons is waargenomen in het Kalfje (zender in het Carlton Hôtel). Wij gebruikten daar een tweelamps-superheterodyne-voorzetapparaat in verbinding met het Philips' omroepontvangtoestel type 2511 (dit laatste heeft twee trappen hoogfrequentversterking, lineaire detectie en 1 trap laagfrequentversterking met een penthode). Met deze combinatie werd de Philips-zender ontvangen zoodanig, dat de roosterwisselspanning van den 1^{en} detector (in het voorzetapparaat) ongeveer 0.1 mV. was, terwijl de hulpgenerator 1 Volt wisselspanning op het rooster gaf. De waarde van 0.1 mV. werd berekend uit de gegevens van de 2511, welke uit den aard der zaak volledig bekend zijn. De waarde van 1 Volt hulpspanning is genomen omdat dit voor de gebruikte lamp de beste waarde was; verhooging hiervan geeft geen voordeel, terwijl daarbeneden de outputspanning van de 2511 ongeveer evenredig is met de hulpspanning.

Wil men nu deze 1 Volt hulpspanning verkrijgen van een nabij den Philips-zender opgestelden hulpzender, dan moet deze dus een veldsterkte geven, welke 10^4 maal zoo groot is als die

van den Philips-zender zelf. Het vermogen van dezen hulpzender moet dus 10^8 maal zoo groot zijn als dat van den Philips-zender, d. w. z. dit moet *25.10⁶ kW.* bedragen. Alsdan verkrijgt men in het Kalfje dezelfde ontvangst als met een localen generator in het ontvangtoestel zelf, als door ons gebruikt.

Inplaats van een omroepzender van $^1/_4$ kW. en een hulpzender van 25.10^6 kW. kan men evengoed twee zenders bouwen van gelijk vermogen, hetwelk voor beide zenders dan *2500 kW.* zou moeten bedragen.

Immers, in groote trekken is de output van het ontvangtoestel evenredig met het product van de op het 1e detectorrooster geinduceerde wisselspanningen ten gevolge van signaal en van hulpspanning. Het product van de vermogens van omroepzender en hulpzender moet dus constant zijn.

Gebruikt men één zender welke hoogfrequent gemoduleerd wordt, als boven bedoeld, dan kan men hoogstens 50 % hoogfrequent moduleeren, daar deze h. f. modulatiespanning laagfrequent 100 % moet kunnen worden gemoduleerd. In dit geval is gemakkelijk te berekenen dat men een zender noodig heeft van *10.000 kW.* De vraag is nu hoe deze waarden worden op kortere afstand.

Uit de in ons bezit zijnde metingen kan gemakkelijk worden afgeleid, dat bij een afstand van 1 resp. 2 km. tusschen ontvanger en zender, de twee gelijke zenders elk voor 11 resp. 115 kW. moeten worden geconstrueerd.

Bovenstaande berekeningen zijn gegrond op verrichte metingen ter plaatse; op groote nauwkeurigheid kunnen zij geen aanspraak maken, maar de grootte-orde is zeker goed. Zij mogen de verklaring vormen waarom het idee van den z.g. superheterodynezender bij ons geen weerklank heeft mogen vinden. De vermogens welke hiervoor in aanmerking komen, zijn niet te verwezenlijken, afgezien nog van de economische kant van de zaak. Met de hier berekende vermogens krijgt men een ontvangst welke gelijkwaardig is met die op het Kalfje met de beste ten dienste staande hulpmiddelen en localen generator, en deze ontvangst is dan nog iets te zwak voor algemeen gebruik, daar men bij voldoende luidsprekersterkte te veel lampgeruisch krijgt; alle vermogens moeten dus met een factor van minstens 5 vermenigvuldigd worden, voor werkelijk deugdelijke ontvangst.

Slot.

Concludeerende kan men vaststellen, dat met een ultrakorte-

golf-zender met een antenne-telefonievermogen van 300 watt, en werkende op een golflengte van 7 à 8 meter, een betrouwbaren omroep van plaatselijken aard in een groote stad mogelijk is, welke aan kwaliteit niets te wenschen behoeft over te laten, mits men een geschikt ontvang-voorzetapparaat en een behoorlijke antenne gebruikt. De ontvangst is daarbij gekenmerkt door een bijzonder rustigen achtergrond, ook als ontvangst op normale omroepgolven door atmosferische storingen ongenietbaar is geworden. De normale omroepontvanger kan gebruikt worden, voorzien van een voorzetapparaat. De frequentieruimte is zeer groot; bij een gelijk verschil in frequentie van zendstations onderling kan men in het golfgebied van 7,5 tot 7,8 meter meer stations onderbrengen als in het gebied van 200 tot 2000 meter, m. a. w. alle omroepstations van Europa. Men heeft deze veelheid van frequenties echter niet noodig daar de afstandswerking der ultrakortegolf-omroepstations zeer beperkt is, zoodat eventueel alle grootere steden dezelfde golflengte zouden kunnen gebruiken zonder elkaar te kunnen storen.

Voor televisie, voor de ontwikkeling dus van de huisbioscoop, zijn deze golflengten in principe bijzonder geschikt, terwijl synchronisatie eenvoudig wordt door deze te ontleenen aan het plaatselijk electriciteitsnet.

Installaties als hier besproken zijn van bijzonder belang te achten voor verbinding van eilanden waar kabels te duur zijn, b.v. voor verbinding van Java met Bali, twee eilanden welke door een bijzonder diepe zee gescheiden zijn. Voorts voor verbindingen op korte afstand die uit den aard der zaak moeilijk op andere wijze kan geschieden, ook niet per radio wegens storing van andere verbindingen (politie, brandweer, leger en vloot, goederentreinen, veerbooten bij mist, enz.).

Eindhoven, 22 Februari 1932.

LITERATUUR:

[1]) Dunmore and Engel, Scientific Papers Bur. Stand. No. 469, t. 10, April 1923.

[2]) N. Wells, The Marconi Wireless-Beam Reflector of Inchkeith. Engineering No. 119, 309, 1925 I.

[3]) G. A. Beauvais, Résultats expérimentaux de Télécommunications avec les ondes très courtes. L'Onde Electrique 1930, pag. 484.

R. Mesny, Les Ondes courtes. L'Onde Electrique 3 Janv. 1924.

René Mesny, Les Ondes électriques courtes. Ed. 1927.

[4]) R. Jouaust, Some details relating to the propagation of very short waves. Proc. I. R. E. 19, 3, 1931.

G. A. Beauvais, Expériences de Communication Radio-téléphonique sur ondes très courtes entre la Corse et le Continent. Annales des P. T. T. 1930, pag. 293.

[5]) Beverage, Peterson and Hansell, Application of frequencies above 30.000 kilocycles to Communication Problems. Proc. I. R. E. 19, 8, Aug. 1931.

[6]) F. Gerth und W. Scheppmann, Untersuchungen über die Ausbreitungsvorgänge ultrakurzer Wellen. Jahrb. der drahtl. T. u. T. 33, 1 Jan. 1929.

F. Gerth, Der derzeitige Stand der Entwickelung der ultrakurzen Wellen unter Berücksichtigung ihrer Verwendungsmöglichkeiten für Rundfunkzwecke. E. N. T. 8, 1, 1931.

[7]) Prof. Dr. A. Esau, Die Entwicklung der Ultrakurzwellen für den Rundfunk. Funkbastler, 11 Sept. 1931.

[8]) Dr. F. Schröter, Erwiderung auf die vorstehenden Ausführungen.
Funkbastler, 11 Sept. 1931.

Dr. F. Schröter, Ultrakurzwellen-Rundfunk.
Telefunken-Zeitung, *57*, April 1931.

Dr. F. Schröter, Aussichten des Ultrakurz-Rundfunks.
Die Norag., 18, Mei 1931.

Dr. F. Schröter, Ultrakurzwellen-Fernsehen.
Telefunken-Zeitung, 58, Juli 1931.

[9]) Manfred von Ardenne, Zur Technik des Sendens und Empfangens von Ultrakurzwellen, die mit mehreren modulierten Hochfrequenzen moduliert sind.
Jahrb. der Drahtl. T. u. T. *37*, 1,
Januar 1931.

[10]) F. Schröter, Ultrakurzwellen-Rundfunk.
Telefunken-Zeitung, *57*, April 1931.



WALTER SCHÄFFER †

20 SEPT. 1881 — 24 MAART 1933

IN MEMORIAM WALTER SCHÄFFER

Met groot leedwezen willen wij hierbij herdenken het onder zoo tragische omstandigheden overlijden op 24 Maart 1933 van Walter Schäffer, tot 13 Maart hoofdingenieur der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft te Berlijn.

De heer Schäffer was sedert Februari 1921, dus ongeveer vanaf de oprichting van het Nederlandsch Radio Genootschap, correspondeerend lid daarvan, en heeft altijd van veel belangstelling in ons Genootschap blijk gegeven. Zoo was hij een der eersten die voor ons Genootschap een voordracht hielden, en wel in November 1920, op welken dag hij te Delft sprak over „Radiotelefonie met Triodezenders". Ook de zittingen van ons Genootschap van 20 October 1923 te Leiden en die van 20 September 1929 te 's-Gravenhage werden door hem bijgewoond.

Voor de groote verdiensten van Schäffer voor de technische ontwikkeling van den omroep, meer in het bijzonder den Duitschen omroep, verwijzen wij naar onderstaande vertaling van een van bevriende zijde ons toegezonden necrologie.

Het Nederlandsch Radio Genootschap verliest in Schäffer een hooggeacht buitenlandsch lid, terwijl vele leden persoonlijk hem zullen gedenken als een man van fijne beschaving, een geestig verteller, een rusteloos werker, een bescheiden zeer intelligent collega.

HET BESTUUR.

Op den 24sten Maart 1933 overleden plotseling de Heer en Mevrouw W. Schäffer.

Walter Schäffer, Hoofdingenieur der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft, heeft zich in de eerste plaats verdienstelijk gemaakt voor de ontwikkeling der omroep-

techniek. Geen gewichtig vraagstuk op dit gebied, dat hij niet bestudeerd heeft en waaraan hij niet een voor het omroepbedrijf bruikbaarder oplossing gaf.

Schäffer werd op 20 September 1881 te Breslau geboren. Hij stamt af van een Breslausche Israëlitische koopmansfamilie. Reeds vroeg interesseerden hem technische aangelegenheden en reeds lang voor den wereldoorlog zijn zijn eerste uitvindingen gepatenteerd. Schäffer sprak graag over dezen tijd, waarin hij een vrij leven leidde, geheel gewijd aan uitvindersbezigheden in een eigen laboratorium; in deze periode vóór den wereldoorlog werd ongetwijfeld de grondslag gelegd voor zijn kennis en ervaring op velerlei gebied. Het aantal hem in dezen tijd verleende patenten bedraagt ongeveer 30, en deze hebben in wezen betrekking op verlichtings- en sterkstroomtechniek.

Gedurende den wereldoorlog, waaraan hij als vrijwilliger deelnam, was hij met zijn broeder, die later aan zijn zijde sneuvelde, ingedeeld bij een luchtballonafdeeling. Ook daar maakte hij zich verdienstelijk wegens technische verbeteringen. Aan het einde van den oorlog werd hij bij de firma Telefunken aangesteld als ingenieur in het zenderlaboratorium. Hier konden zijn groote begaafdheden eerst recht naar voren treden, daar in dezen tijd de geweldige ontwikkeling der radiotelegrafie, in het bijzonder de overgang van het bedrijf met gedempte golven naar dat met ongedempte golven, een aanvang nam. Spoedig werd hij met de leiding van het zenderlaboratorium belast. Uit dezen tijd stamt zijn uitvinding van de roostergelijkstroom-modulatie, welke voor het eerst de mogelijkheid bood, een teruggekoppelden zender met voldoende kwaliteit voor telefonie te moduleeren in het rooster van de zendlamp. Deze rooster-gelijkstroom-telefonie werd daarop door Telefunken vrijwel uitsluitend tot op dit tijdstip voor het moduleeren van zenders toegepast. Trots de zeer groote beteekenis van dit patent heeft Schäffer (in zijn groote persoonlijke bescheidenheid) nimmer veel ophef daarvan gemaakt en praktisch geen voordeel getrokken uit de exploitatie dezer uitvinding.

Toen daarna in Amerika de eerste omroep-proef-

nemingen plaatsvonden, was hij onmiddellijk doordrongen van de groote beteekenis daarvan en gaf hij zich geheel aan de ontwikkeling van voor omroep geschikte zenders. Reeds de eerste Duitsche omroepzender, welke door het Telegraphentechnisches Reichsamt (Reichspostzentralamt) werd geïnstalleerd, en welke zich gedurende langen tijd in het Voxhaus op de Potsdamerplatz bevond, werd met zijn vakkundigen steun gebouwd. Intusschen was Schäffer bij Telefunken een autoriteit geworden op het gebied van zendaangelegenheden, zoodat hij na een korte tusschenperiode als leider vån de radio-afdeeling van het Sachsenwerk Licht und Kraft A. G., in het jaar 1925 op het Telegraphen-technisches Reichsamt (Reichspostzentralamt) der Duitsche Rijksposterijen aangesteld werd om als leider van het aldaar nieuwe gebied der omroeptechniek op te treden. Door zijn arbeid op het gebied der hoogfrequentie-techniek gewend aan exacte metingen, verving hij de tot dan gebruikelijke subjectieve beoordeeling van omroepapparaten door objectieve meetmethoden. Hij was wel de eerste, die omroepapparaten laagfrequent doorgemeten heeft en eveneens de eerste, die in zijn tijd de modulatie van de zenders volgens deze methoden keurde. In zeer korten tijd werd zoodoende bij den omroep een technisch volwaardig bedrijf verkregen, op hoogfrequent zoowel als op laagfrequent gebied.

Nadat deze opgave opgelost was, gold Schäffer's belangstelling de kwaliteitsverbetering van de uitzendingen. Hij vond de lichtsirene uit, waarmede laagfrequente trillingen van willekeurige frequentie en van constante amplitude kunnen worden verkregen, een instrument, dat nog heden ten dage tot de voornaamste meetapparaten bij de omroepvereenigingen behoort. Met behulp van dit apparaat werden en worden ook nu nog alle weergave-apparaten, vanaf den microfoon tot den zendermodulator, doorgemeten. Het doel hierbij was, de frequentie-kromme van microfoon tot zender tot een rechte te maken. Wie de ontwikkeling in dien tijd heeft meegemaakt weet, welke groote technische moeilijkheden daarbij overwonnen moesten worden. Met de uitbreiding van het omroep-zendbedrijf werd

het zwaartepunt van het technisch onderzoek bij den omroep verlegd naar de omroepvereenigingen, vooral ook, omdat hiervoor in vele gevallen nauwe samenwerking met de exploitanten noodig was. Om deze reden werd in 1929 het technisch „Besprechungsbetrieb" losgemaakt van de Duitsche Rijksposterijen en bij de omroepvereenigingen ondergebracht. Schäffer werd leider van de afdeeling Bedrijfstechniek der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft, waaraan de technische bedrijven van alle omroepvereenigingen (tot München toe) ondergeschikt werden. Daarmede werd een voor de verdere technische vervolmaking zeer bevorderlijke centralisatie tot stand gebracht. Hier kon Schäffer zijn groot organisatietalent laten gelden. Binnen korten tijd werd de kwaliteit der uitzendingen op het tegenwoordige hooge peil gebracht. Het sprak vanzelf, dat naast deze electrotechnische ontwikkeling ook de acoustiek van de zalen en de studie van de voor omroep meest geschikte opstelling van orkest en microfoons in steeds grooter mate tot zijn arbeidsveld gingen behooren. Eén van Schäffer's ideeën op dit gebied, welk groote bekendheid verworven heeft, is de Schäffer-tent, die in staat stelt, een in acoustisch opzicht voor omroep ongeschikte opname-ruimte provisorisch en snel in een bruikbaren toestand te brengen. De moeilijkheden, waarmede Schäffer als technisch denker hier te kampen had, waren zeer groot, want de acoustische kwaliteit van een ruimte of de klank van een uitzending konden slechts subjectief beoordeeld worden en niet gemeten. Om echter ook hier bij de beoordeeling exact te werk te gaan, voerde hij bij den omroep de geluidsregistratie op gramofoonplaten in. Daarmede werd de mogelijkheid geopend, den invloed van acoustische veranderingen in zalen op het klankkarakter der uitzendingen te vergelijken. Zeer spoedig ontwikkelde hij de geluidsopteekening, welke ook voor vele andere doeleinden, in het bijzonder voor repetities, studio-contrôle en ook voor uitzendingen, tot een bijzonder bestanddeel van het geheele omroepbedrijf werd.

Schäffer nam als vertegenwoordiger der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft deel aan alle vergaderingen

van de Technische Commissie der Union Internationale de Radio-diffusion en heeft een zwaren strijd gestreden, in het bijzonder betreffende golflengtetoewijzingen, welken hij met voor Duitschland gunstigen uitslag uitvocht. Aan de vergaderingen van het C. C. I. T. en het C. C. I. R. nam hij als expert deel. Verder zat Schäffer in het wetenschappelijk comité der Heinrich-Hertz-Gesellschaft. Op zijn talrijke buitenlandsche reizen maakte hij zich vertrouwd met de buitenlandsche omroepbedrijven en verwierf zich daar, dank zij zijn groote technische kundigheid en zijn beminnelijk karakter, overal vrienden, waarmede hij tot zijn dood een levendige wetenschappelijke briefwisseling onderhield.

VOORTPLANTING VAN GOLVEN VAN 150—2000 KC/S (2000—150 METER) OVER AFSTANDEN VAN 50—2000 K.M.

door

Dr. BALTH. VAN DER POL

Tijdens de Internationale Radiotelegraphische Conferentie te Madrid bleek het van belang, te beschikken over een samenvattend rapport betreffende de voortplantingseigenschappen van radiogolven voor de bovengenoemde frequentie- en afstandsgebieden.

Col. Angwin als Voorzitter van Subcommissie 1 van de Technische Commissie der Conferentie droeg een Comité van 4 leden dezer Commissie op de volgende vraag te beantwoorden:

> „Wat zijn de gemiddelde en maximum velden, ver-
> „oorzaakt door directe en indirecte straling, voor 1 kW
> „gestraald vermogen, op afstanden van 50 tot 2000 km,
> „en met frequentie's tusschen 150 en 2000 kc/s."

Het Comité dat werd gevormd door de heeren:

Dr. Balth. van der Pol, *Voorzitter*,
T. L. Eckersley,
Dr. J. H. Dellinger en
Dr. Ph. Le Corbeiller,

heeft in antwoord op de haar gestelde vraag een samenvattend rapport opgesteld betreffende de voortplantingseigenschappen van radiogolven voor de in de haar gestelde vraag bedoelde frequentie- en afstandsgebieden, welk rapport op 11 October 1932 aan de Conferentie werd aangeboden.

Daar wij vermeenen dat een dergelijk samenvattend verslag ook voor breedere technische kringen van belang kan zijn laten wij het hieronder volgen.

RAPPORT

betreffende de voortplanting van golven tusschen 150 en 2000 kc/s (2000 tot 150 m golflengte) over afstanden van 50 tot 2000 km.

Dit rapport beoogt een samenvatting te geven van de beschikbare gegevens betreffende veldsterkten, des daags zoowel als des nachts, op afstanden van 50 tot 2000 KM., en in het bovengenoemde frequentiegebied.

De conclusies zijn in 8 grafiekbladen (Fig. 1—8) weergegeven, waarbij Fig. 1—4 betrekking hebben op transmissie over land met een gemiddeld geleidingsvermogen van 10^{-13} C. G. S. electromagnetische eenheden, en Fig. 5—8 op transmissie over zee (geleidingsvermogen 10^{-11}). Het is van belang op te merken, dat het geleidingsvermogen van de aarde sterk varieert. De hier aangenomen waarde is een gemiddelde van de in Europa en Amerika experimenteel verkregen resultaten. Voor aarde met grooter geleidingsvermogen zouden de resultaten tot die voor transmissie over zee naderen, en omgekeerd.

Elk der figuren 1—8 geven het veld weer, veroorzaakt door 1 kW gestraald vermogen, uitgedrukt in mV/m als functie van den afstand in KM, zoowel voor dag- als voor nachttransmissie. Voor andere waarden van het gestraald vermogen diene dat de veldsterkten evenredig zijn met de vierkantswortel van het vermogen. De nachtwaarden hebben betrekking op den tijd tusschen zonsondergang en middernacht.

Zooals iedere figuur duidelijk aantoont, zijn de nacht- en dagwaarden voor korte afstanden ongeveer gelijk. Op grootere afstanden zijn de nachtwaarden hooger dan de dagwaarden en zeer veranderlijk. De in de figuren aangegeven nachtwaarden zijn gemiddelden en quasi-maximum waarden, bepaald als die, welke door oogenblikkelijke waarden 50 % resp. 5 % van den tijd overtroffen worden. Het aangeven van de quasi-maximum-waarden verdient de voorkeur boven dat van de absolute maxima, daar deze laatsten zelden voorkomen en bovendien afhangen van den tijdsduur, gedurende welken de waarnemingen worden gedaan.

Voor vier frequenties zijn de resultaten gegeven, en wel gelden Fig. 1 en 5 voor 150 kc/s (2000 m), Fig. 2 en 6 voor 300 kc/s (1000 m), Fig. 3 en 7 voor 550 kc/s (545 m), Fig. 4 en 8 voor 1500 kc/s (200 m).

De grafieken toonen aan, dat over afstanden van ongeveer

500 tot 2000 KM de nachtwaarden voor transmissie over land en over zee aan elkaar gelijk zijn voor alle frequenties in het genoemde gebied, terwijl de dagwaarden verschillend zijn.

Met nadruk zij er op gewezen, dat alle gegevens slechts gemiddelden zijn; de waarnemingen varieeren van ongeveer de helft tot het dubbele van de vermelde waarde voor de lage frequenties, en van ongeveer een derde tot driemaal deze waarde voor de hooge frequenties. De in de praktijk verkregen verschillen komen voort uit het verschil in geleidingsvermogen van de aarde, onregelmatigheden van het terrein (heuvels, bosschen, steden, enz.), antenne-karakteristieken en condities in de ionosphere (geïoniseerd gebied van de hooge atmospheer).

De grafieken zijn gegrond op experimenteele gegevens uit verschillende bronnen. Wanneer men den aard der verschillende waarnemingen en het karakter der verschijnselen in aanmerking neemt, is de overeenkomst der gegevens zeer bevredigend te noemen. De gegevens der dagwaarden zijn samengesteld uit de gedurende verscheidene jaren door vele waarnemers verkregen resultaten. Voor de nachtwaarden werd uit alle ter beschikking staande experimenteele resultaten een kromme afgeleid, welke het gezamenlijk observatie-materiaal het best weergeeft.

Dr. Balth. van der Pol *(Voorzitter)*.
T. L. Eckersley.
Dr. J. H. Dellinger.
Dr. Ph. le Corbeiller.

LITERATUUR:

1. A. Sommerfeld, Ann. d. Phys., **28**, 287 (1909).
2. G. N. Watson, Proc. Roy. Soc., **A 35**, 546 (1919).
3. Balth. van der Pol, Phil. Mag., **38**, 365 (1919).
4. A. Sommerfeld, Ann. d. Phys., **81**, 1135 (1926).
5. P. P. Eckersley, T. L. Eckersley, H. L. Kirke, Proc. I. E. E., **67**, 507 (1929).
6. B. Rolf, Ingeniors Vetenskaps Akedemien Handlinger Nr. 96 (1929); Proc. I. R. E., **18**, 391 (1930).
7. Balth. van der Pol, Zs. f. hochfr. Techn., **37**, 152 (1931).
8. Documents C. C. I. R. (Copenhague), 367—461, (1931).
9. Supplément No. 11 au cahier des propositions pour la Conférence radiotélégraphique internationale de Madrid (1932).
10. Fifth Ann. Report of the Federal Radio Commission, Washington D. C. (1931).
11. T. L. Eckersley, Proc. Roy. Soc., **A 132**, 83 (1931).
12. T. L. Eckersley, Proc. Roy. Soc., **A 136**, 499 (1932).
13. T. L. Eckersley, Proc. Roy. Soc., **A 137**, 158 (1932).
14. Supplément No. 14 au cahier des propositions pour la Conférence radiotélégraphique internationale de Madrid 33—44, 45—51 (1932).
15. Union internationale de radiodiffusion, Memorandum No. 1 (1932).
16. Union internationale de radiodiffusion, Maxima et Minima horaires du rayon indirect des stations mesurées, mars (1932).
17. Bureau of Standards, Letter Circular No. 317 (1932).
18. S. S. Kirby en K. A. Norton, Bureau of Standards Research Paper No. 429 (1932).
19. Bion en David, Comptes rendus de l'Académie des Sciences 17 mai 1932.
20. T. L. Eckersley, Direct Ray Broadcast Transmission, Proc. I. R. E. (in press).

21. Ongepubliceerde waarnemingen ter beschikking gesteld door:

1) Royal Canadian Corps of Signals (Canada).
2) British Broadcasting Corporation (Great Britain).
3) N. V. Philips' Radio, Physical Laboratory (Holland).
4) U. S. S. R. Delegation.
5) Navy Department (U. S. A.).
6) Research Department, Marconi Company (Great Britain).
7) Navy Department (France).
8) R. Braillard (U. I. R.),

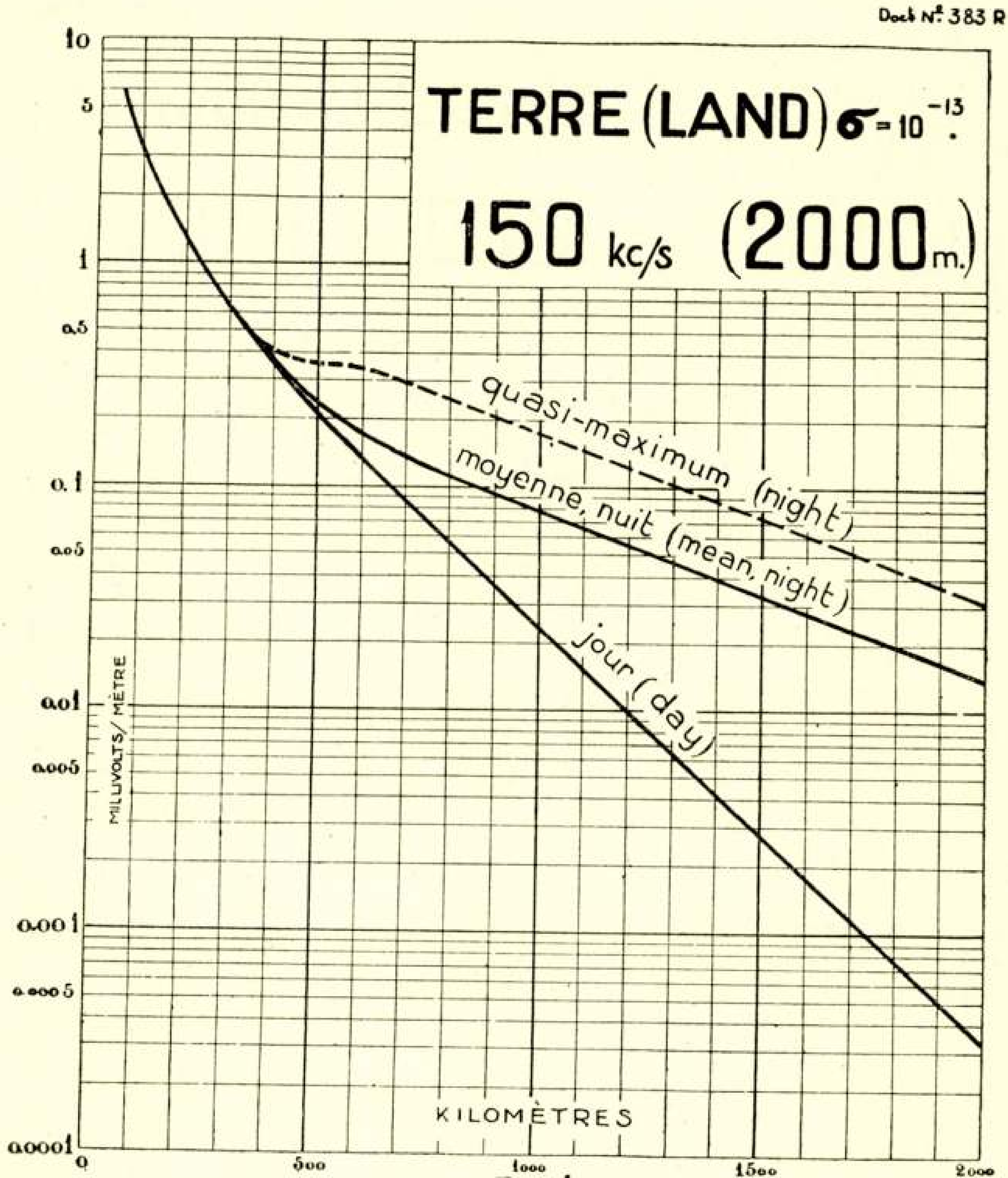


Fig. 1

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

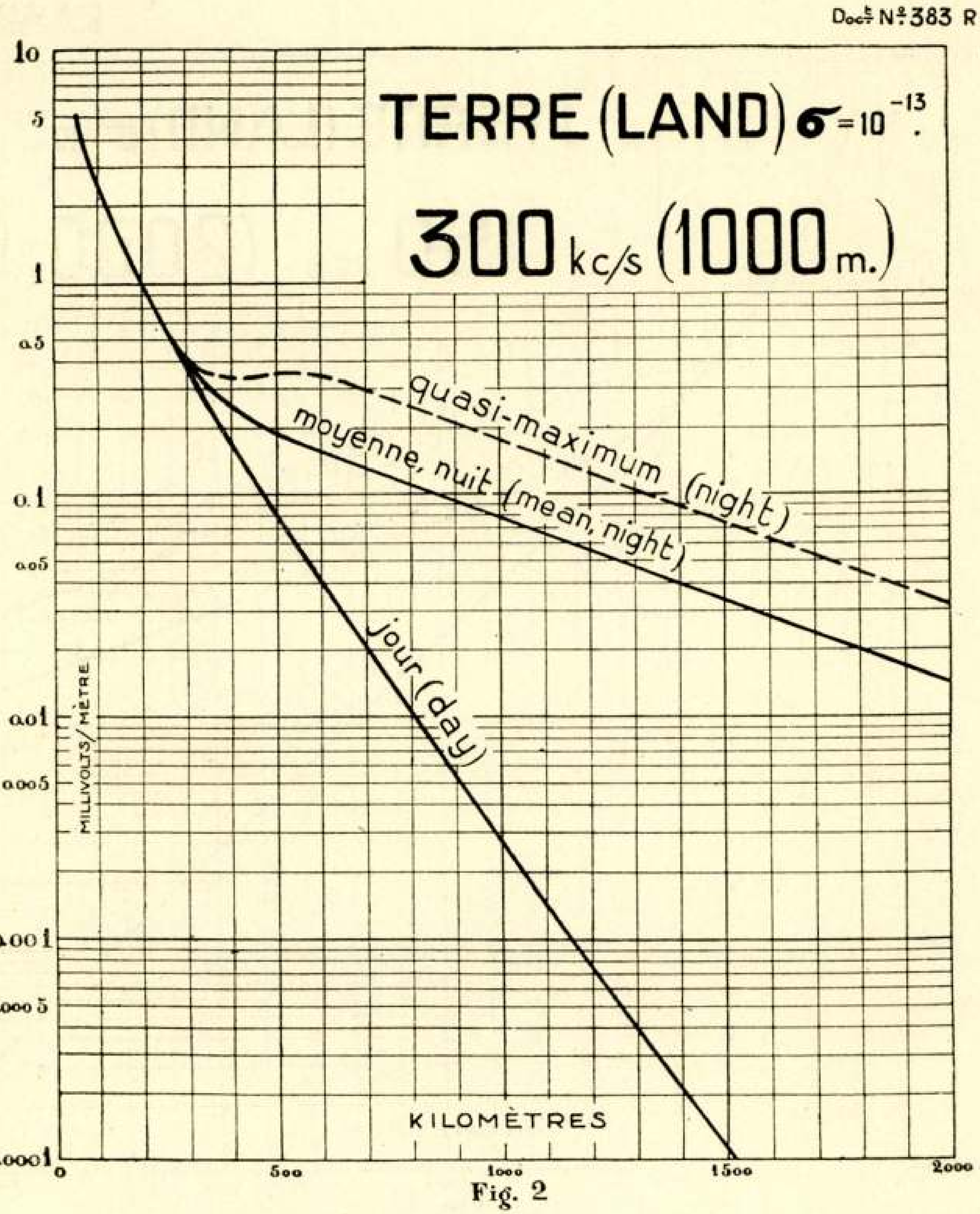


Fig. 2

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

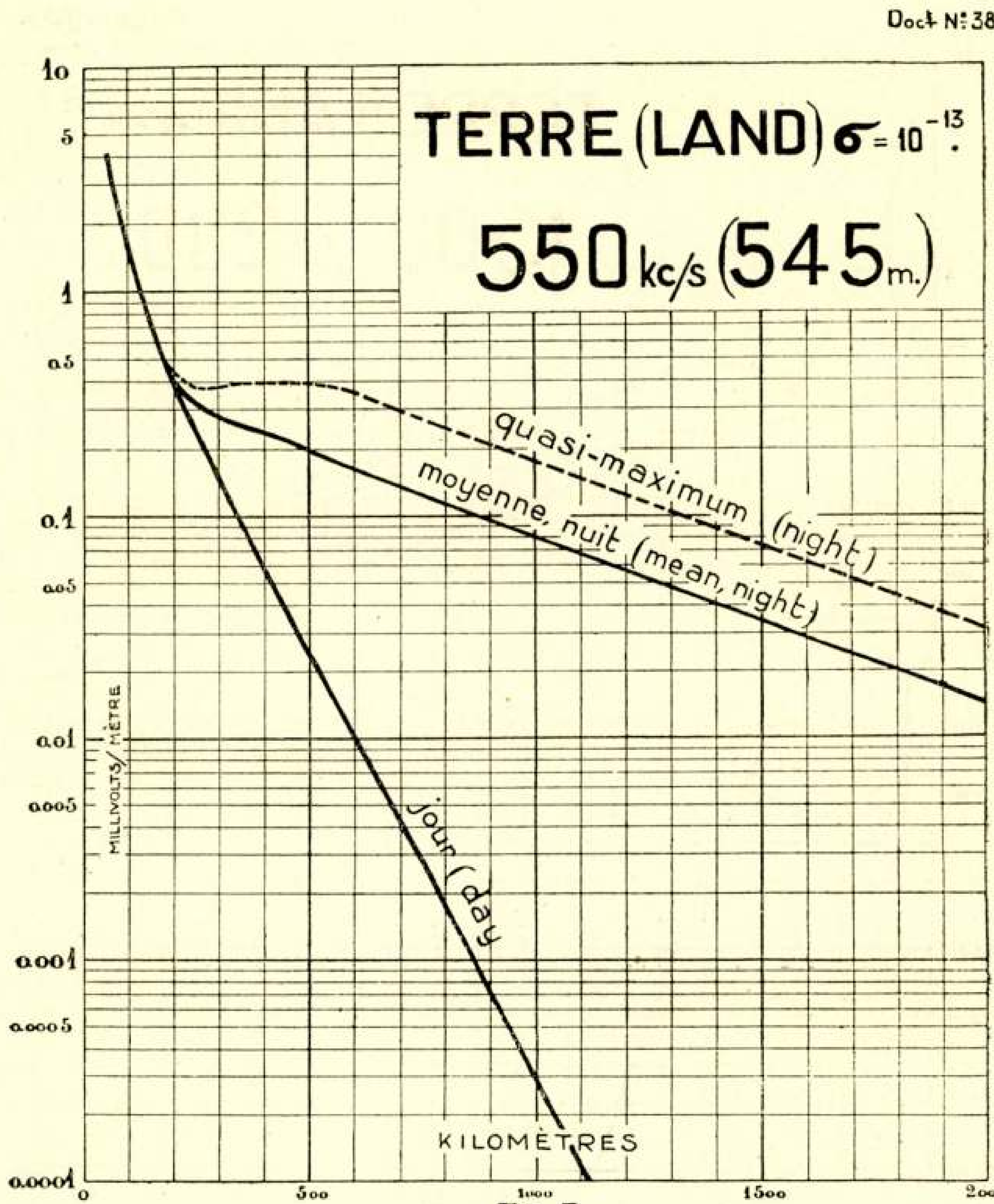


Fig. 3

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

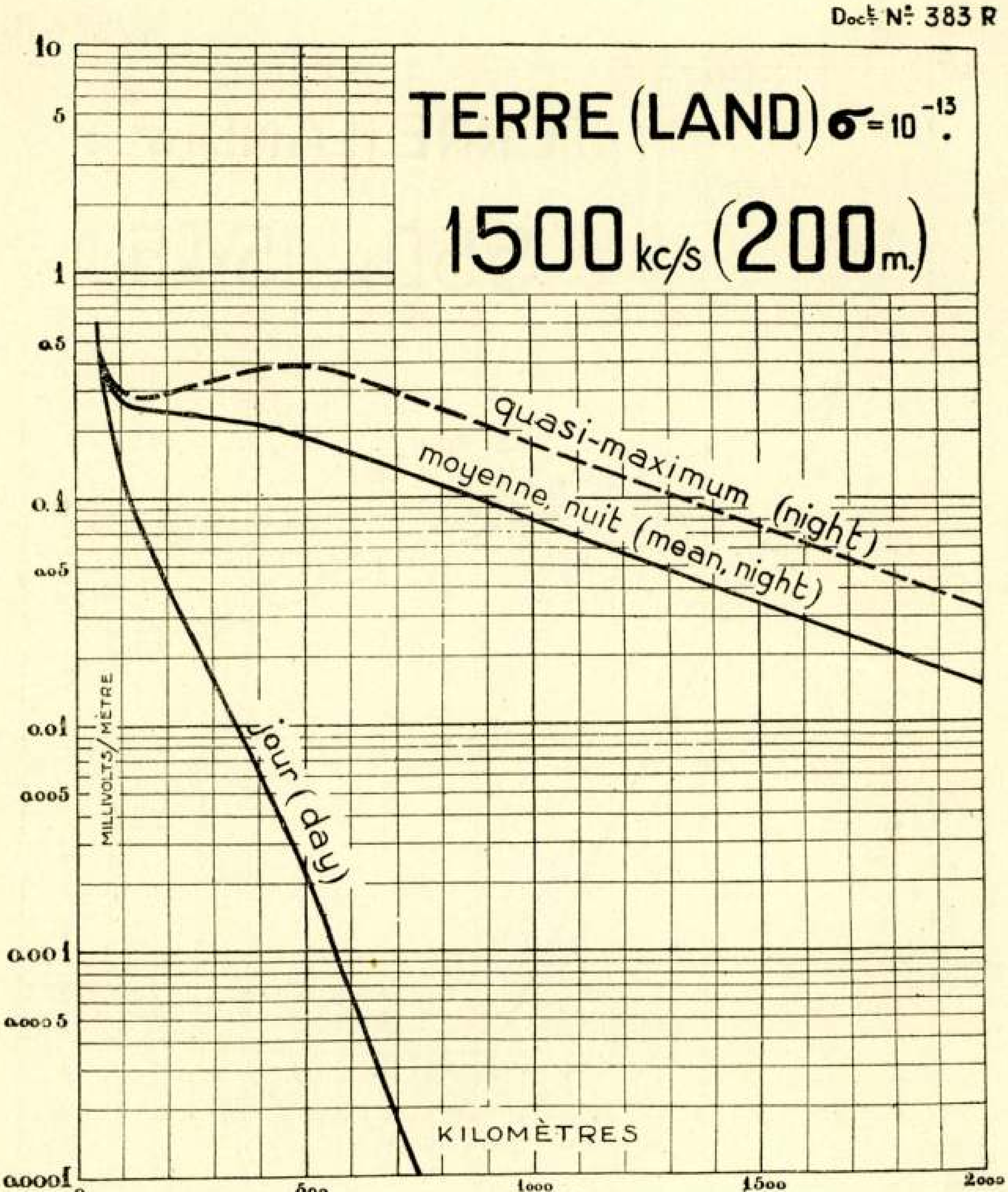


Fig. 4

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

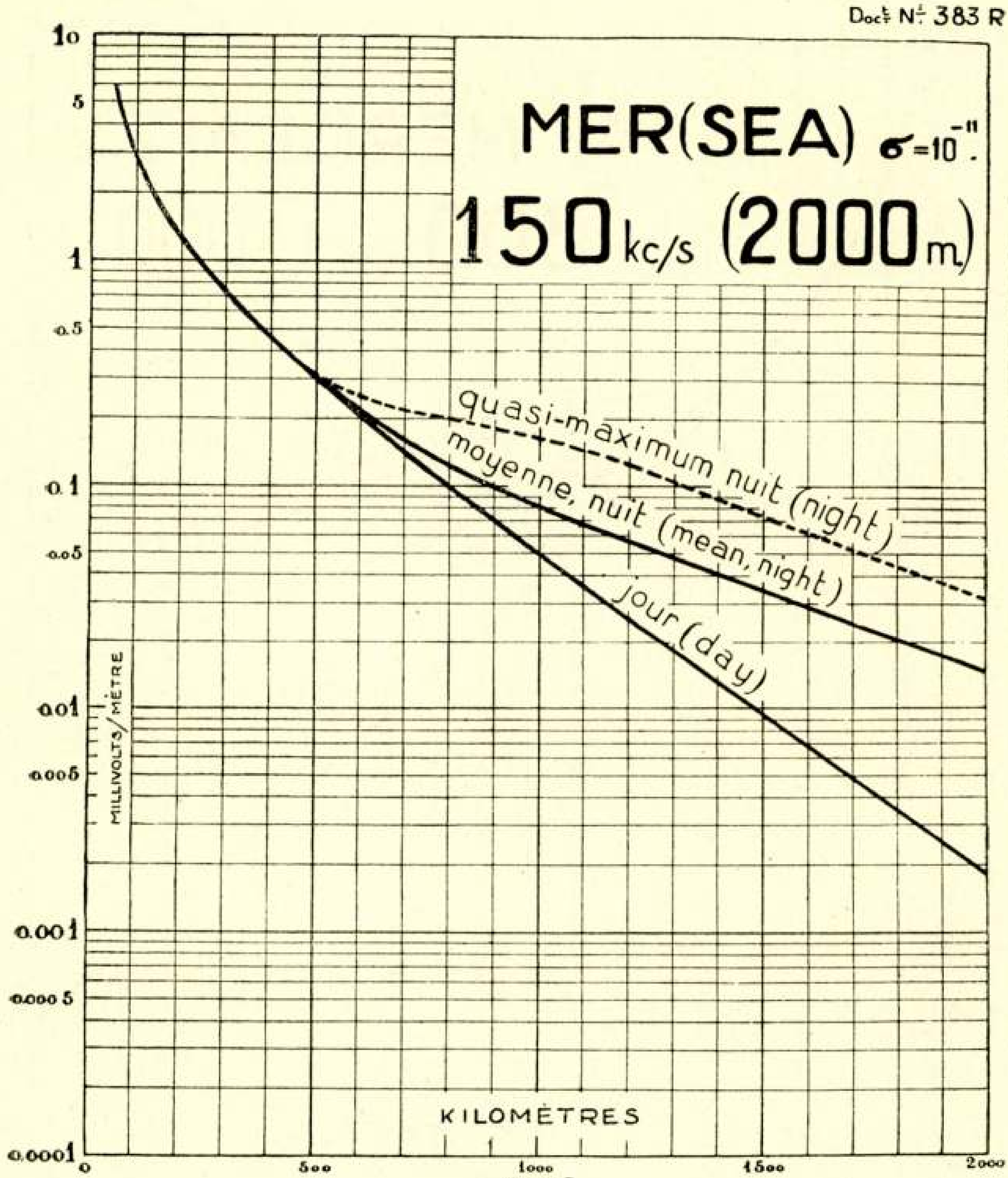


Fig. 5

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

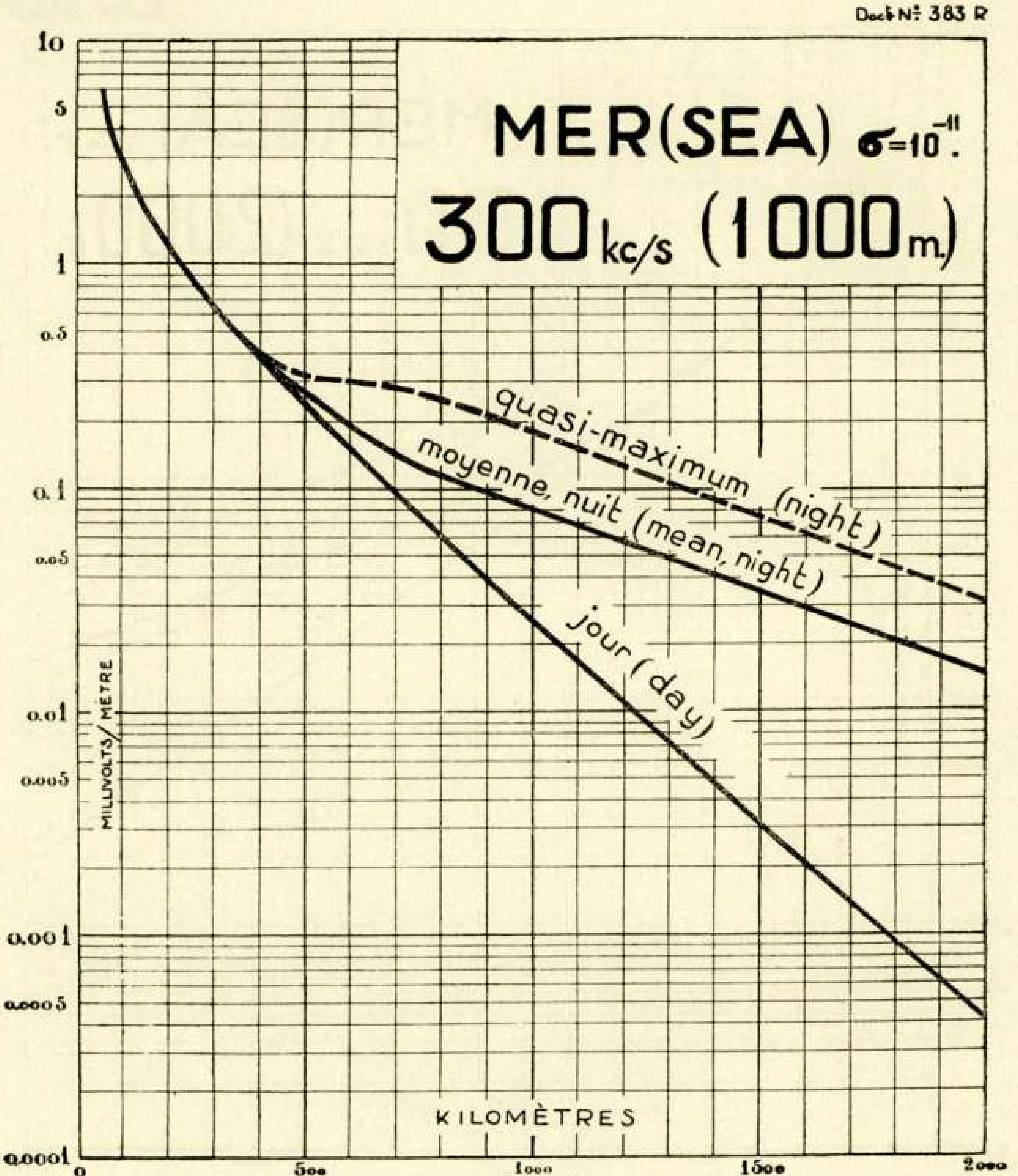


Fig. 6

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

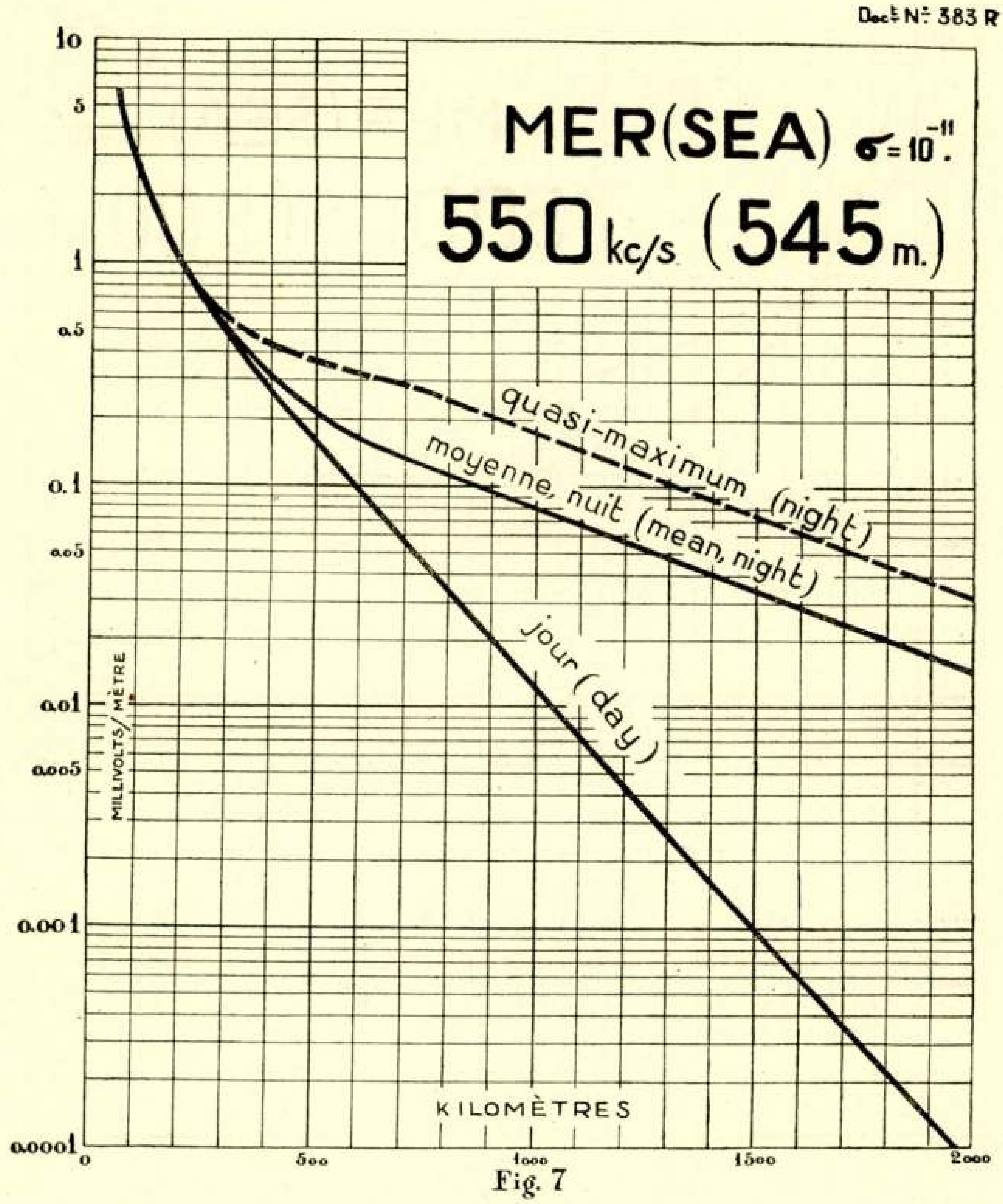


Fig. 7

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

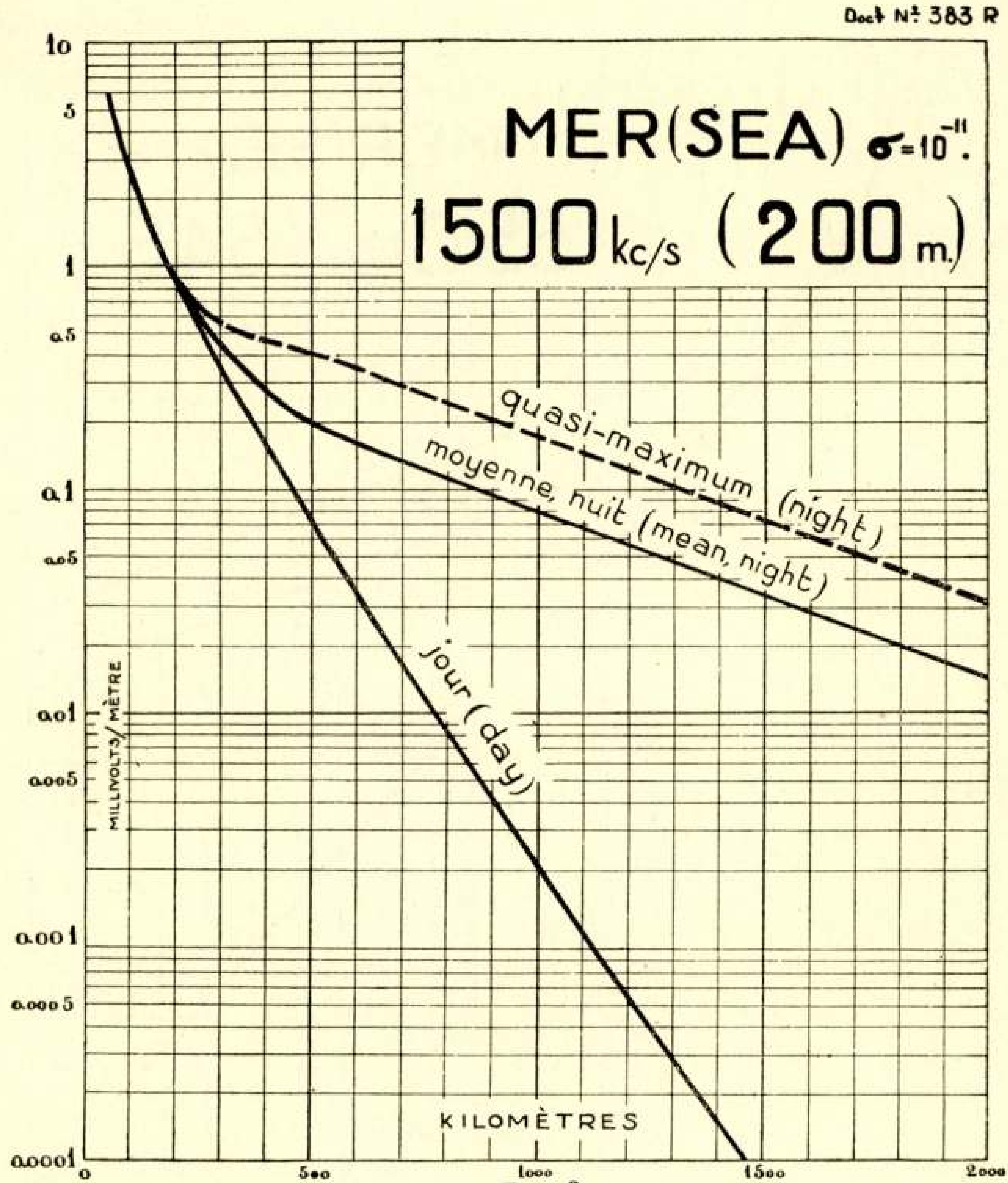


Fig. 8

Voor 1 KW stralingsenergie. Voor beteekenis en toepassing dezer krommen wordt naar de tekst verwezen.

ENKELE MEDEDEELINGEN OVER HET ECHOLOOD [1])

Naar een voordracht gehouden voor het Nederlandsch Radio-Genootschap te Amsterdam op 8 October 1932

door

W. G. KUYCK

Dir. v. d. Nederlandsche Telegraaf Maatschappij „Radio-Holland" N.V.

Zekerheid omtrent de diepte van het water onder de kiel is voor den zeeman een eerste vereischte, niet alleen voor de veiligheid, maar ook voor zijn plaatsbepaling en voorts is bij het vervaardigen en herzien van zeekaarten een nauwkeurige dieptemeting noodzakelijk.

Het handlood is alleen bij zeer kleine diepten en weinig vaart bruikbaar; staaldraad-loodingstoestellen (Lucas, Thomson, James en Brookes) hebben ook nog bezwaren en bij groote diepten veroorzaken zij veel tijdverlies.

De vooruitgang van de techniek bracht in de vorige eeuw een meer volmaakt hulpmiddel, n.l. de geluidstrillingen in water.

Oorspronkelijk toegepast voor een verbinding in horizontale lijn onder water tusschen 2 punten (Sturm en Colladon 1827, Hennesy 1861) als onder-water kloksignalen, later ook in verbinding met radio-signalen, werd deze methode ook gebruikt om door middel van het opwekken van een echo den afstand tot een voorwerp (schip of ijsberg) in de nabijheid vast te stellen en ten slotte ging men de geluidstrillingen toepassen bij het meten van de waterdiepte door gebruik te maken van de bekende voortplantingssnelheid en het opvangen van een echo tegen den zeebodem, daaruit ontstond het „echolood".

Het op die wijze gebruik maken van geluidstrillingen onder water heeft voor den zeeman zeer groote voordeelen. Hij kan

---

[1]) Ontleend aan verschillende publicaties van het „International Hydrographic Bureau" — Monaco en de S. C. A. M. — Parijs.

met het echolood gemakkelijk groote en kleine diepten aanlooden, terwijl het schip niet behoeft te stoppen en de looding zelf ook bijna geen tijd vergt (de voortplantingssnelheid is ongeveer 1500 m per sec.). De voortplanting van de trillingen is rechtlijnig en onafhankelijk van stroom en weersomstandigheden.

Het is begrijpelijk, dat vooral in den oorlog de techniek van de geluidstrillingen onder water snel voortschreed; men gebruikte deze voor communicatie tusschen schepen en onderzeebooten, voor het beluisteren van de nadering van de vijandelijke onderzee-booten, het afstand meten en het richting bepalen.

Wat de toepassing als echolood betreft, hebben Behm in Duitschland, Fessenden in Amerika, Hughes in Engeland en Langevin in Frankrijk zich onderscheiden.

Alhoewel oogenschijnlijk het echolood weinig met de radiowetenschap te maken heeft, zijn er enkele punten, welke toch wel de belangstelling verdienen; daarvan willen wij de aandacht vestigen op: de voortplanting van de geluidstrillingen; de trillingen, gebruikt bij het Langevin echolood en de mogelijkheid om die trillingen in een beam te concentreeren en ten slotte de optische diepte-aanwijzing van het Langevin echo-lood.

Absorptie en Voortplantingssnelheid.

Geluidstrillingen in de lucht worden snel en zeer onregelmatig geabsorbeerd, maar het is bekend, dat de demping in andere media veel kleiner is.

Een trillend voorwerp in water geeft zijn energie aan het omringende medium af, welke energie zich dan rondom voortplant. Daarbij heeft met het kwadraat van den afstand energievermindering plaats door bolvormige uitbreiding. Voorts wordt de trilling bij de voortplanting door het medium gedempt door inwendige wrijving, samendrukking en warmtegeleiding. Voor deze absorptie geldt de formule:

$$\text{dempingscoëfficient } a = \frac{8 \pi^2 \mu n^2}{3 d v^3}$$

waarin:

μ = wrijvingscoëfficient
n = frequentie
d = dichtheid
v = voortplantingssnelheid.

De wrijvingscoëfficient van zeewater is ongeveer 0.01, hij wordt

kleiner bij toenemende temperatuur en grooter bij toenemend zoutgehalte; de druk heeft weinig invloed.

De dichtheid van zeewater is ongeveer 1.028. Zij wordt kleiner bij toenemende temperatuur, grooter bij toenemenden druk en bij toenemend zoutgehalte.

De voortplantingssnelheid is in zeewater ongeveer 1500 m per seconde. Zij wordt grooter bij toenemende temperatuur, bij toenemenden druk en bij toenemend zoutgehalte.

Bij een frequentie van 1000 wordt met de bovengenoemde gemiddelde waarden de dempingscoëfficient ongeveer 10; ter vergelijking diene, dat voor dezelfde frequentie de dempingscoëfficient in lucht ongeveer 1000 maal grooter is.

De voortplantingssnelheid, welke door rechtstreeksche observatie kan worden gemeten, kan ook worden berekend uit de formule:

$$\text{voortplantingssnelheid } v = \frac{1}{\sqrt{d\,c}}$$

waarin

d = dichtheid
c = samendrukbaarheid

De dichtheid wordt kleiner bij toenemende temperatuur, grooter bij toenemenden druk en bij toenemend zoutgehalte; de samendrukbaarheid wordt kleiner bij toenemende temperatuur, druk en zoutgehalte. De twee laatstgenoemden hebben dus een tegengestelden invloed op dichtheid en samendrukbaarheid.

Het resultaat is, dat gemiddeld de snelheid ongeveer 3 m per seconde toeneemt per graad Celsius temperatuurstijging, ongeveer 18 m per seconde toeneemt per 100 atmosferen drukvergrooting en 1.2 m per seconde toeneemt per een $^0/_{00}$ grooter zoutgehalte.

Bij grooter wordende waterdiepte neemt de druk regelmatig toe met ongeveer 1 atmosfeer per 10 m, als regel neemt de temperatuur af en het zoutgehalte toe.

Als voorbeeld uit de practijk ontleenen wij de volgende getallen aan de tafels, samengesteld door de afdeeling Hydrografie van de Britsche Admiraliteit.

Gemiddelde snelheid over de aan te looden diepte bij een bepaalde gemiddelde temperatuur op den Noord-Atlantischen Oceaan:

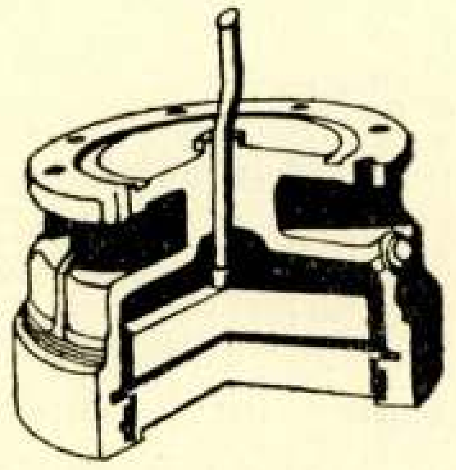
opp.	— 11° C	— 1490 m/s
1000 m	— 5° C	— 1489 m/s
2000 m	— 3.6° C	— 1491 m/s
3000 m	— 3.1° C	— 1496 m/s
4000 m	— 2.6° C	— 1502 m/s

Aangezien het echoloodingstoestel geijkt is voor een bepaalde gemiddelde voortplantingssnelheid, kan men aan de hand van de tafels of door berekening op elke gevonden waterdiepte, zoo noodig, een correctie toepassen.

Langevin projecteur.

Een tweede punt, dat de belangstelling verdient, is de Langevin kwarts-projecteur.

Langevin heeft, in tegenstelling met de andere onderzoekers, de oplossing voor een deugdelijk onder-water communicatie-



middel gezocht in het gebruik van buiten hoorbereik liggende trillingen, de ultra-sonore trillingen van 30000 frequentie en hooger.

Hij beoogde daarmede een tweeledig doel: vrij te komen van de storingen in de hoorbare frequenties, welke door de scheepsschroef en andere oorzaken aan boord zoo veelvuldig opgewekt worden, en voorts het concentreeren van de trillingen in een bundel, zoodat zij niet door andere dan diegene, waarop de bundel gericht is, kunnen worden opgevangen en ook geen valsche weerkaatsingen ontstaan.

Hij bereikte daarbij tevens energie-concentratie als gedeeltelijke compensatie voor de snellere absorptie van de hoogere frequenties.

Gebruik makende van de piezo-electrische eigenschappen van kwarts-kristallen, bediende hij zich in 1917 van een kwartscondensator, bestaande uit twee stalen platen, waartusschen kwarts-kristallen van een bepaalde dikte. Deze kristallen werden

volgens de X snede loodrecht op de electrische as uit het volle kristal gezaagd en zoodanig geslepen, dat de combinatie staal-kwarts-staal een longitudinale mechanische trilling van de gewenschte frequentie zou kunnen opwekken, als aan dezen condensator een hoogfrequente wisselspanning wordt toegevoerd.

Bij het Langevin echolood in de tegenwoordige uitvoering is de condensator cirkelvormig met een werkzame middellijn van 22 cm; tusschen de 3 cm dikke stalen platen bevindt zich een mozaiek van op maat geslepen kwarts-kristallen. De eigen frequentie van het geheel is 37000.

Overeenkomstig de lichttheorie worden de ultra-sonore geluidstrillingen in het water geconcentreerd in een bundel, waarvan de tophoek berekend kan worden uit de formule:

$$sin.\, a = 1.2 \frac{V}{n\, D}$$

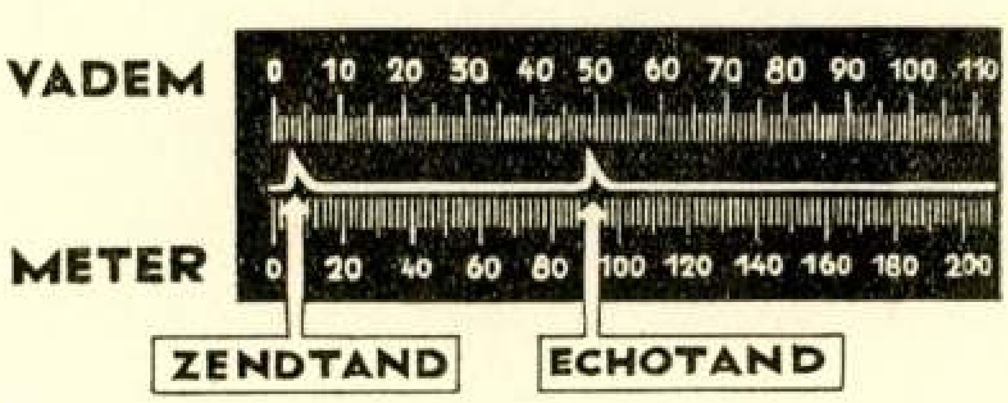
waarin:

a = de hoek tusschen het midden van den bundel en de richting van 0 of minimum straling;
V = voortplantingssnelheid;
n = frequentie;
D = middellijn van projecteur.

De formule geldt alleen voor gevallen, waarin de middellijn eenige golflengten bedraagt; in het bovengenoemde geval is de beam-antenne ruim 5 golflengten en krijgt men een hoofdbundel, waarin 90 % van het vermogen is geconcentreerd van ongeveer 20 graden; de rest van de energie gaat in eenige zijlussen verloren.

Diepte-aanwijzing.

De door den projecteur uitgezonden trillingen worden dus in



een smallen bundel loodrecht naar beneden uitgezonden en tegen den zeebodem weerkaatst. De echo bereikt weder den Langevin kwarts-condensator, welke omgekeerd de mechanische trilling in een electrische trilling omzet; deze laatste worden versterkt gebracht op een diepte-aanwijzer.

Om de diepte te bepalen, meet men den tijd tusschen uitzending van een zeer korten ultra-sonoren trillingsimpuls en de ontvangst van de echo.

Die tijd geeft met de bekende voortplantingssnelheid de diepte. Langevin maakt het mogelijk, die diepte direct af te lezen op een in meters en vademen geijkte schaal, waarlangs met uiterst nauwkeurige snelheid door middel van een spiegel een lichtpunt beweegt.

Zoowel bij zenden als ontvangen van den ultra-sonoren trillingsstoot krijgt het lichtpunt een kleine scherpe afwijking, waardoor een zendtand en een echotand ontstaan.

Bij den laatsten leest men de diepte af.

OVER DE GRONDSLAGEN VOOR DE BESTRIJDING VAN RADIOSTORINGEN

door

Ir. J. W. ALEXANDER
Natuurkundig Laboratorium der N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland)

Naar een voordracht, gehouden op 17 December 1932 te 's Gravenhage voor het Ned. Radio Genootschap

Ten einde radiostoringen te kunnen bestrijden, is het noodzakelijk zich een juist beeld te vormen van het onderwerp van die bestrijding. Beginnen we bij de storingsverwekkers, dan zijn als zoodanig bekend:

zenders, waarvan de draaggolven zeer weinig in frequentie verschillen met de te ontvangen draaggolf,

ontvangers, in de nabijheid van het eigen ontvangtoestel opgesteld, die in hun antennes hoogfrequente spanningen opwekken,

atmosferische storingen,

en die groote groep van storingen, die opgewekt worden door motoren, gelijkrichters enz. die in Engeland als interference en in Amerika als man-made static worden betiteld.

We zullen ons tot deze laatste groep beperken.

Gaan we nu na waardoor het storend karakter van deze groep bepaald wordt, dan blijkt het dat in al die storingsbronnen snel met den tijd veranderlijke spanningen aanwezig zijn.

De invloed van een dergelijke spanning $f(t)$ (o voor $t < o$ en $t > \tau$) op een kring met de elementen L, C en r is na te gaan [1]) wat tot resultaat heeft, dat voor de spanning op den condensator van dien kring geschreven kan worden

[1]) Tijdschr. v. h. Ned. Rad. Gen. V, No. 6, 155, 1932.

$$V = \frac{1}{\omega L C} G(\omega) e^{-at} \sin \omega t$$

geldig vanaf een bepaald tijdstip $t_1 > 0$ en waarin

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{4L^2}}$$

$$a = \frac{r}{2L}$$

$G(\omega)\, d\omega$ = de grootte van de component der frequentie ω uit het frequentiespectrum der stoorspanning.

De amplitude van V hangt dus, behalve van de constanten van die kring, slechts af van de spectrale intensiteit der frequentie ω van de stoorspanning.

Verder zien we, dat V niet alleen de frequentie ω bevat. Welke frequentie's er nog meer zijn vertegenwoordigd zullen we als volgt met behulp van het integraaltheorema van Fourier nagaan. Dit luidt:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\nu t} d\nu \int_{0}^{\infty} f(x)\, e^{-i\nu x} dx$$

waaruit we zien dat $\int_0^\infty f(x)\, e^{-i\nu x} dx$ de component met de frequentie ν voorstelt. Passen we dit toe op:

$$f(t) = \frac{1}{\omega L C} G(\omega)\, e^{-at} \sin \omega t$$

dan berekenen we de component met de frequentie ν:

$$\frac{G(\omega)}{\omega L C} \frac{\omega}{-\nu^2 + \omega^2 + a^2 + 2\, i\, a\, \nu}$$

uit
$$\int_0^\infty e^{-ax} \sin \omega x\, e^{-\nu x} dx$$

De grootte van die component is dan

$$\frac{G(\omega)(\omega^2 + a^2)}{\sqrt{(-\nu^2 + \omega^2 + a^2)^2 + 4\, a^2 \nu^2}}$$

Teekenen we dit als functie van ν op, dan verschijnt een resonantiekromme. Om dit aan te toonen gaan we uit van een $L\,C\,r$ kring, waarop een spanning met de frequentie ν werkt:

$$L\,C\,V'' + r\,C\,V' + V = E\,e^{i\nu t}$$

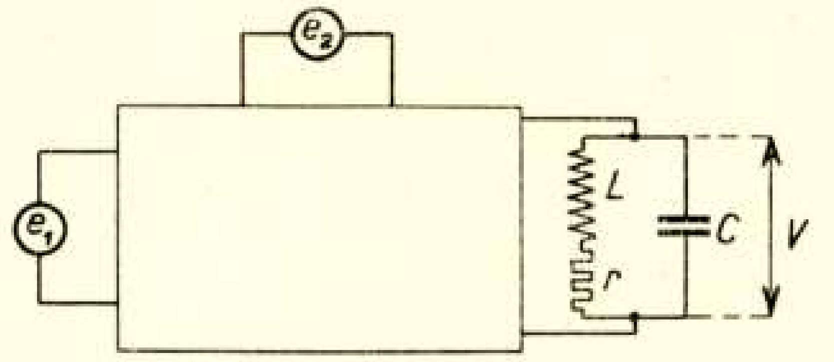
Hieruit volgt, voor de blijvende toestand zonder inschakelverschijnselen

$$V = \frac{E e^{i\nu t}}{-L\,C\,\nu^2 + i\,r\,C\,\nu + 1}$$

Na vervanging van L, C en r door ω en a volgt voor de grootte van V

$$|V| = \frac{E(\omega^2 + a^2)}{\sqrt{(-\nu^2 + \omega^2 + a^2)^2 + 4\,a^2\,\nu^2}}$$

We zien dus dat de eigentrilling $\frac{1}{\omega\,L\,C} G(\omega)\,e^{-at} \sin \omega t$ niets anders wil zeggen, dan dat de kring uit het Fourierspectrum



Figuur 1.

een resonantiekromme uitsnijdt, waarbij het spectrum in de omgeving van de resonantiefrequentie als constant is gedacht (zoowel wat betreft amplitude als phase).

Als resultaat van het omzetten van de tijdsfunctie $e^{-at} \sin \omega t$ in frequentie's zien we, dat naast de resonantiefrequentie ω ook nog andere optreden, die echter weinig van ω verschillen.

We behoeven ons dus slechts in te laten met spanningen met de frequentie ω.

Hierdoor wordt aan den eenen kant het probleem der storingsbestrijding zeer vereenvoudigd: alle storingsbronnen vervangen we door emk's met de frequentie ω, over impedantie's verbonden met de $L\,C\,r$ kring van den ontvanger (fig. 1). Het is dus niet noodig te denken aan loopende golven en sterk gedempte trillingen.

Aan den anderen kant wordt het duidelijk dat er een groot arbeidsveld open ligt. Want, waar komt nu de storingsbestrijding op neer?

Uit het algemeene schema in fig. 1, waarin V de spanning op de eerste afgestemde kring met de eigenfrequentie ω van het ontvangtoestel, e_1 de stoorspanning met de frequentie ω, e_2 de signaalspanning met dezelfde frequentie ω voorstelt, zien we, dat ons twee wegen openstaan om de storingen te bestrijden:

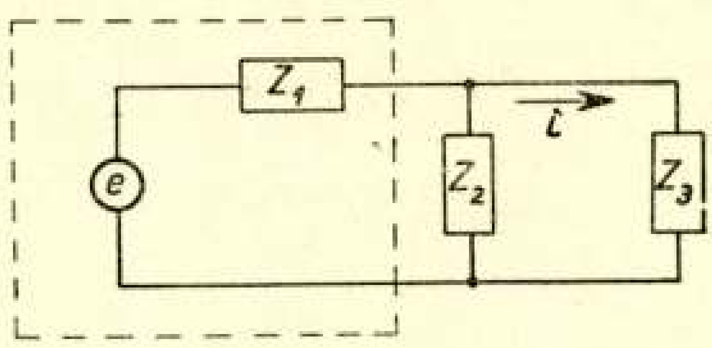
1°. we kunnen de spanning e_1 direct beïnvloeden;

2°. we kunnen de impedantie tusschen e_1 en V vergrooten.

Een voorbeeld van het eerste is de ontstoring van een stroomonderbreking met behulp van een condensator met weerstand in serie.

Het tweede geval treedt op bij de ontstoring van een motor door middel van een dubbelcondensator tusschen de netklemmen en het motorhuis.

Echter zullen vaak de beide gevallen tegelijk optreden.



Figuur 2.

Nu is van het eerste geval vrijwel niets bekend, en van het tweede geval nog zeer weinig, want daartoe behooren de hoogfrequent eigenschappen van motoren, gelijkrichters, leidingen, antenne, aardleiding, toestel-voedingsleidingen enz.

Nemen we als voorbeeld het ontstoren van een motor. In sommige gevallen is het aanbrengen van smoorspoelen behalve de dubbelcondensator van klemmen naar motorhuis gewenscht. We zullen onderzoeken aan welken kant van de condensator de smoorspoel geschakeld dient te worden, omdat dit een punt is waarover verschillende opvattingen heerschen.

Figuur 2 geeft een zeer vereenvoudigd schema van een storende motor, waarin e de stoorspanning met frequentie ω op de plaats van de vonk tusschen borstel en collectorlamel voorstelt. Het omstippelde gedeelte geeft de motor weer, Z_2 is de anti-storingscondensator, Z_3 de impedantie van het net, waarop de motor is aangesloten. De daarin loopende stroom i moet dus zoo klein mogelijk gemaakt worden. Voor i kunnen we schrijven:

$$i = e \frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

In geval *A* schakelen we de smoorspoel met impedantie Z aan de motorzijde, in geval *B* aan de netzijde van de condensator. We vinden dan:

$$i_A = e \frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3 + Z Z_2 + Z Z_3}$$

$$i_B = e \frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3 + Z Z_2 + Z Z_1}$$

Ter ontstoring maken we Z_2 zoo klein en Z zoo groot mogelijk. Nemen we dus aan dat de termen met Z_2 verdwijnen tegenover de andere, en die met Z overwegen tegenover de rest, dan volgt:

$$\frac{i_A}{i_B} = \frac{Z_1}{Z_3}$$

Het hangt dus geheel van de verhouding van in- en uitwendige impedantie's af, waar de smoorspoel geplaatst moet worden. Volgens de practijk is nu eens de eene en dan weer de andere schakeling het gunstigst.

Een tweede zeer belangrijk punt bij het opheffen der storingen is de vraag tot hoever de storingsvermindering, waaruit de ontstoring practisch bestaat, moet worden voortgezet. Deze vraag is gedeeltelijk beantwoord [1]) nl. indien signaal en stoorspanning beide op de eerste afgestemde kring van het ontvangtoestel werken. Daar wordt een bepaalde, meetbare waarde voor de stoorspanning aangegeven, die zoo groot is, dat het signaal daarbij niet meer gestoord wordt.

In de practijk bevindt zich tusschen de stoorspanning en de eerste afgestemde kring nog een samenstel van impedantie's (zie fig. 1) waaronder ook antenne, aardleiding en voedingsnet zijn begrepen, zoodat b.v. de vraag: hoe groot moet een condensator zijn om een motor te ontstoren, op het oogenblik onbeantwoord moet blijven.

---

[1]) Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik **40**, 82. Sept. 1932.

Eindhoven, 21 Januari 1933.

SUMMARY

Attention is given to the two principal questions which are to be considered when fighting disturbances:

1) The importance of the frequency to which the receiving set is tuned. This leads to the investigation of power (low frequency) apparatus and conductors as to their behaviour with respect to high-frequency (radio-frequency) currents. It is mentioned by way of example to render a motor free from causing disturbances.
2) The question as to the extent to which a decrease in disturbances should be continued so that a reception free from disturbances can be spoken of.

Mention is made of various still unknown factors which are important in connection with the anti-disturbance problem.

In de op de voordracht volgende discussie werd het volgende besproken:

Het lid Prof. Jhr. Dr. G. J. Elias vroeg of bij de berekening van de spanning V

$$V = \frac{1}{\omega L C} G(\omega) e^{-\alpha t} \sin \omega t$$

gebruik gemaakt was van het integraaltheorema van Fourier.

Ir. Alexander antwoordde, dat dit inderdaad het geval was, en verwees naar de genoemde publicatie in het Tijdschrift van het Nederlandsch Radio Genootschap.

Dr. Balth. van der Pol merkte in verband hiermede op, dat het door Ir. Alexander afgeleide resultaat, dat een storing een trillingskring slechts met zijn eigen frequentie en demping laat trillen, ook op de volgende manier kan worden ingezien.

Wanneer men aanneemt, dat het Fourier spectrum van de storing slechts voor een klein gebied rondom de resonantiefrequentie van de kring op deze laatste inwerkt en men verder veronderstelt, dat in dit gebied de amplituden en phasen van de Fouriercomponenten constant zijn, dan mag men, zonder het resultaat te beïnvloeden, nog vrij beschikken over de Fouriercomponenten buiten genoemd gebied.

Wanneer men deze componenten verder alle dezelfde amplituden en op de tijd $t = t_0$ dezelfde phase geeft als de componenten in het doorlaatgebied, dan stelt de aldus kunstmatig samengestelde Fourier integraal een impuls voor en het is zonder meer duidelijk, dat een impuls de trillingskring slechts met zijn eigen frequentie en demping laat trillen.

METINGEN VAN DE HOOGTE DER HEAVISIDE-LAAG

door

G. J. ELIAS, C. G. A. VON LINDERN en G. DE VRIES

Bij de in het navolgende beschreven metingen van de hoogte der Heaviside-laag, werd gebruik gemaakt van de het eerst door Breit en Tuve[1]) gebezigde methode, waarbij het tijdsverschil gemeten wordt tusschen de ontvangst van een direct radiosignaal en een aan de Heaviside-laag gereflecteerd signaal. Aangezien bij onze proeven de afstand tusschen zender en ontvanger slechts enkele honderden meters bedroeg, is genoemd tijdsverschil practisch gelijk aan het quotiënt van de dubbele effectieve hoogte der reflecteerende laag en de lichtsnelheid. Uit den gemeten tijd kan derhalve de effectieve hoogte onmiddellijk worden afgeleid.

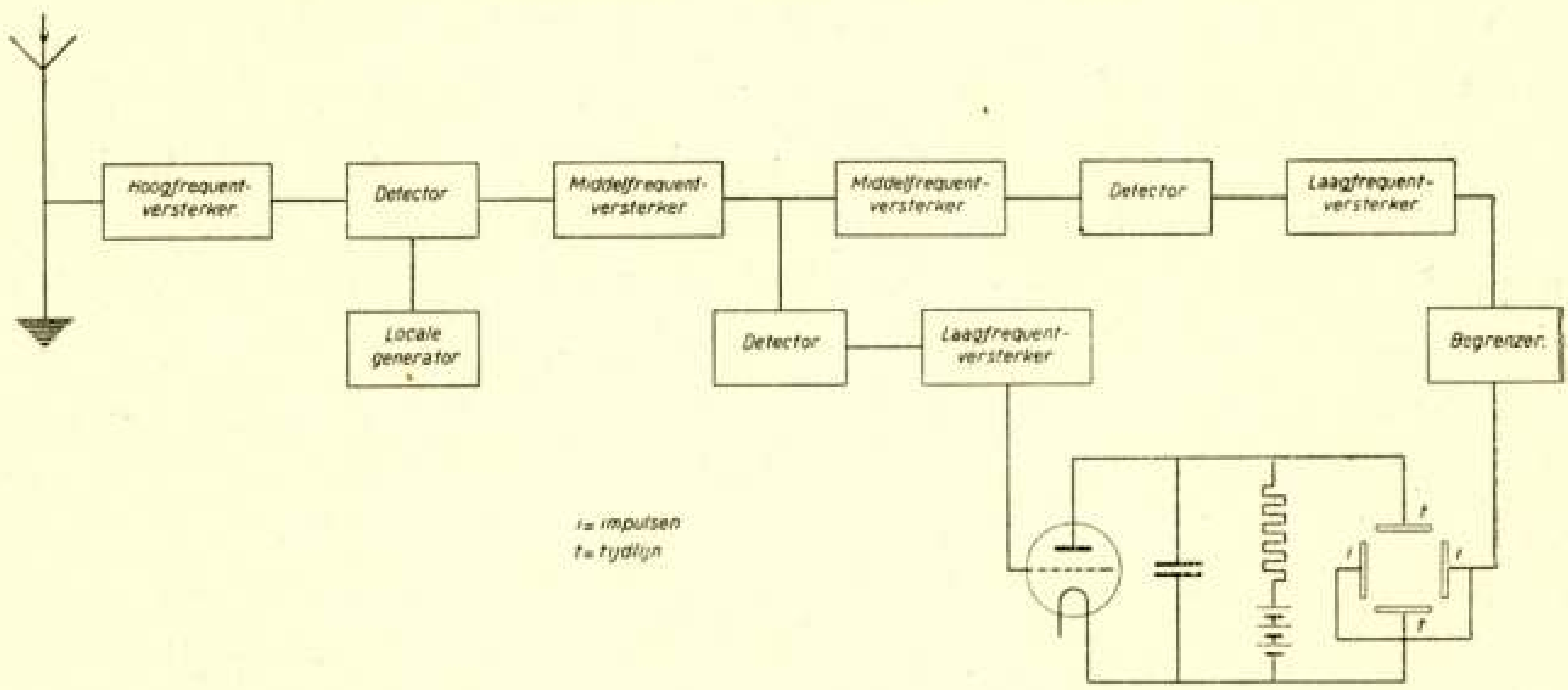
Ter opwekking van het radiosignaal werd een triode gebezigd, die, behalve de hoogfrequente trilling, eene relaxatietrilling uitvoerde met eene frequentie van omstreeks 80. Dientengevolge werd 80 maal per secunde een golftrein uitgezonden gedurende $^1/_{10000}$ secunde, waarbij de golflengte 75 meter bedroeg.

Bij den ontvanger veroorzaakte elke golftrein na versterking en gelijkrichting eene uitwijking van de lichtvlek van de gebezigde buis van Braun in eene zekere richting (Y-as). De versterking geschiedde eerst hoogfrequent, vervolgens werd met behulp van een localen generator en een detector een middelfrequente combinatietoon opgewekt; de na versterking en gelijkrichting van dezen combinatietoon verkregen spanning werd na laagfrequentversterking aan de buis van Braun toegevoerd via een als spanningbegrenzer geschakelde triode. Het doel van dezen begrenzer zal verderop blijken.

Loodrecht op de uitwijking in de richting der Y-as (dus volgens de X-as) verkreeg de lichtvlek ter bepaling van den tijd

[1]) Phys. Rev. **28**, p. 554, 1926.

eene uitwijking tengevolge van de spanning van een condensator, die over een grooten weerstand geladen werd, welke uitwijking binnen een zeker tijdsinterval vrijwel een lineaire functie van den tijd was. Teneinde de baan, die op deze wijze door de lichtvlek doorloopen werd, waarneembaar te maken, moesten de bewegingen resp. volgens de X-as en volgens de Y-as gesynchroniseerd worden. Zulks geschiedde, doordat de condensator, die de beweging volgens de X-as veroorzaakte, telkens ontladen werd door het radiosein, dat de spanning opwekte, waarvan de beweging in de richting van de Y-as afhankelijk was. Op deze wijze beschrijft de lichtvlek eene periodieke baan, die op de fluoresceerende laag van de buis van Braun volkomen stilstaat en goed waarneembaar is. De ontlading van den condensator geschiedde met behulp van eene aftakking van den middelfre-



Figuur 1.
Principe schema van de versterkerinstallatie.

quentversterker. In fig. 1 is het geheele schema in beginsel weergegeven.

Bij de boven gegeven uiteenzetting is slechts sprake van de directe seinen, die, zooals vermeld, met eene frequentie van 80 den ontvanger bereiken. De periodieke baan wordt dus 80 maal per secunde doorloopen. Is er geen gereflecteerd sein aanwezig, dan is deze baan tusschen twee „pieken" recht en volgens de X-as gericht. Tengevolge van de reflecties zullen zich echter tusschen de „directe" pieken „gereflecteerde" pieken vertoonen. Uit de ligging hiervan ten opzichte van de „directe" pieken kan, zooals boven uiteengezet, onmiddellijk de effectieve reflectiehoogte bepaald worden.

Indien de waarneming der reflecties op deze wijze visueel geschiedt, zoo is het feitelijk onmogelijk hieruit conclusies te

trekken, daar zoowel de hoogte als de plaats en het aantal der „gereflecteerde" pieken voortdurend varieert. Teneinde aan dit bezwaar tegemoet te komen en een zeker gemiddelde te verkrijgen, hebben wij eene registratiemethode toegepast.

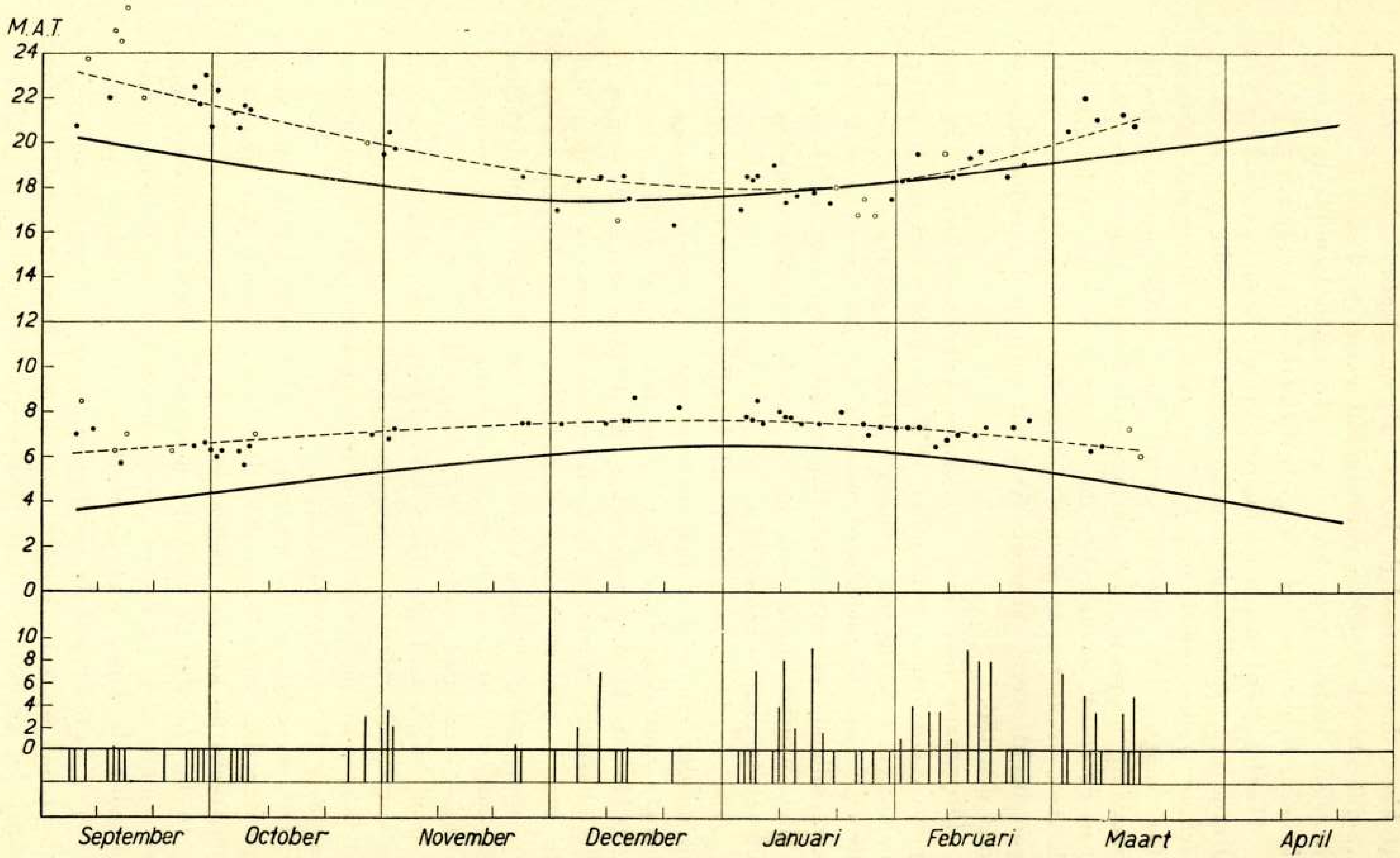
Hierbij werd tegen de fluoresceerende laag van de buis van Braun eene smalle spleet aangebracht evenwijdig aan de X-as, achter welke spleet zich een fotografische filmstrook bewoog. De hoogte der „pieken" werd nu, zooals boven vermeld, zoodanig begrensd, dat de maximale hoogte zich op de plaats van de spleet bevond. Op de filmstrook werden nu de verschillende „gereflecteerde pieken" fotografisch vastgelegd, waarmede een beeld werd verkregen van het verloop der reflectiehoogte met den tijd.

Doorgaans had deze registratie telkens gedurende 24 uur plaats. Uit sedert September 1932 geregeld voortgezette waarnemingen, waarbij de golflengte steeds nagenoeg 75 meter bedroeg, moet geconcludeerd worden tot het bestaan van drie verschillende reflecteerende lagen, die resp. met I, II en III zullen worden aangeduid, en in voorkomen zeer duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn.

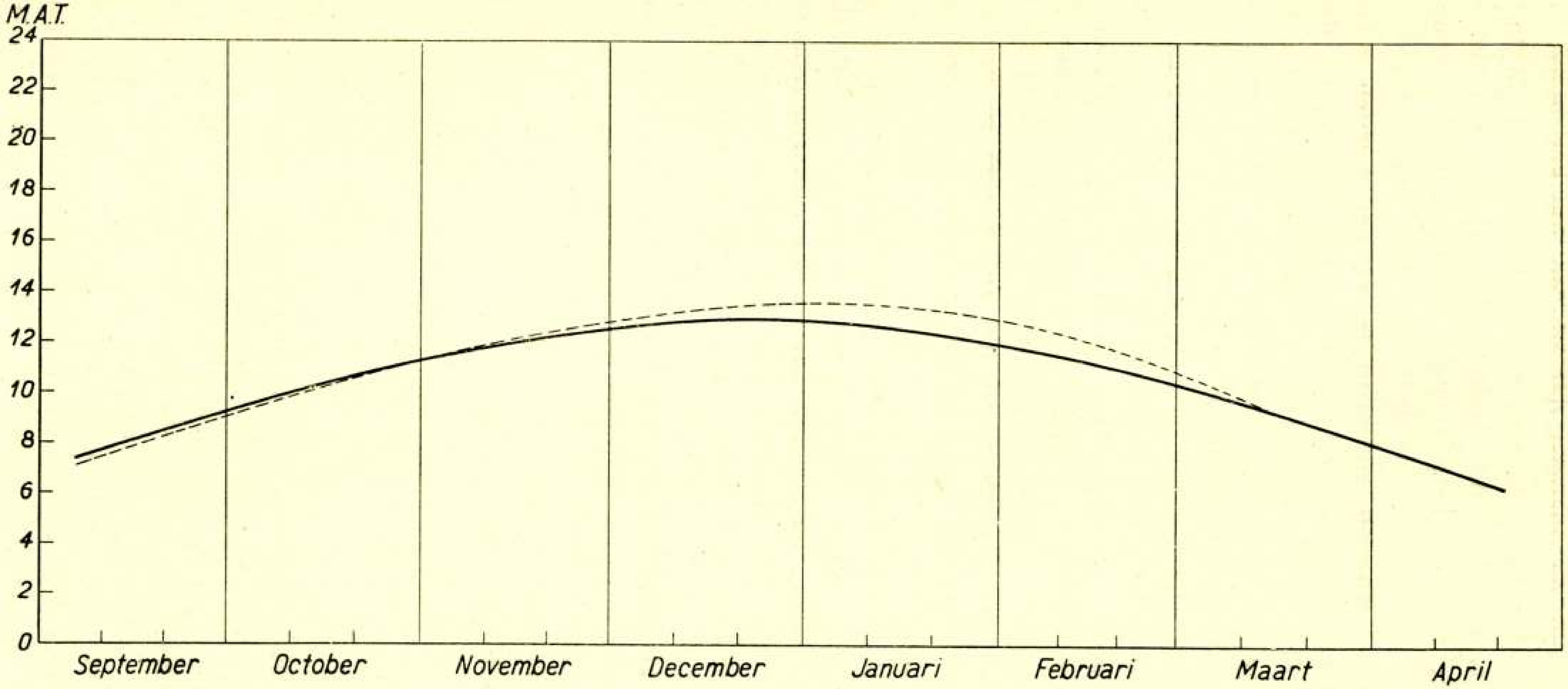
Laag I. Deze laag heeft zich bij alle waarnemingen met meer of minder groote duidelijkheid vertoond gedurende den dag. De hoogte van deze laag bedroeg in het najaar 1932 omstreeks 200 km., in de eerste maanden van 1933 ongeveer 250 km. Op de filmstrook vertoont deze laag zich doorgaans als eene niet te breede streep. Vaak, vooral tegen zonsondergang en kort na zonsopgang worden verschillende van deze strepen op gelijke afstanden waargenomen, soms tot 5 toe, hetgeen wijst op meervoudige reflecties aan dezelfde laag. Het feit, dat de op de filmstrook vastgelegde lijnen precies hetzelfde verloop vertoonen, is het bewijs voor deze meervoudige reflectie; immers de onderstelling van de aanwezigheid van verschillende æquidistante lagen is al te onwaarschijnlijk.

Des avonds en des morgens is de hoogte van de laag wat grooter dan midden op den dag, een verschil, dat soms wel omstreeks 50 km. kan bedragen.

In fig. 2a zijn de tijdstippen aangegeven, waarop deze laag verschijnt, resp. verdwijnt; de gestippelde lijnen volgen zooveel mogelijk de aldus verkregen punten. De getrokken lijnen vereenigen daarentegen de tijdstippen, waarop de zon opkomt, resp. ondergaat op eene hoogte van 200 km. Het is duidelijk zichtbaar, dat er in het najaar 1932 een tijdsinterval is van ongeveer


M.A.T.
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
10
8
6
4
2
0
September
October
November
December
Januari
Februari
Maart
April

Figuur 2a



Figuur 2b

Figuur 2a: Verband tusschen zons op- en ondergang en resp. het verschijnen en verdwijnen van laag I, alsmede eenige waarnemingen omtrent de aanwezigheid van laag II (zie tekst). (De met ○ aangegeven waarnemingspunten zijn niet absoluut zeker).

Figuur 2b: Verband tusschen den duur van den nacht (getrokken lijn) en de afwezigheid van laag I.

twee uur tusschen de opkomst der zon op 200 km. hoogte en het verschijnen der laag. In den winter 1933 wordt dit tijdsverschil kleiner, echter is dit slechts schijnbaar, indien met de hoogere ligging van de laag (zooals waargenomen) rekening wordt gehouden. Bovendien is hier misschien nog een tweede factor werkzaam, waarop verderop nader zal worden teruggekomen. Het ligt voor de hand genoemd tijdsinterval te interpreteeren als den tijd, die noodig is voor de totstandkoming van de ionisatie na opkomst van de zon. Een tijdsinterval van dezelfde orde van grootte verloopt er des avonds na het ondergaan van de zon op 200 km. hoogte tot het verdwijnen van de laag, ofschoon op sommige dagen, met name in den winter 1933, de laag eerder verdwijnt (zie verder hieronder). Laatstgenoemd tijdsinterval kan ongedwongen verklaard worden als de tijd, die noodig is voor de recombinatie. Fig. 2b vertoont verder den duur van den nacht op 200 km. hoogte en den tijd van afwezigheid van laag I; beide lijnen vertoonen in hoofdzaak hetzelfde verloop.

Het feit, dat er op verschillende tijden, voornamelijk tegen zonsondergang en kort na zonsopkomst, meervoudige reflecties worden waargenomen, wijst erop, dat op die tijden de reflectiecoëfficiënt eene groote waarde heeft. Uit het aantal waargenomen reflecties kan bij benadering de reflectiecoëfficiënt worden bepaald.

Indien ϱ_1 den reflectiecoëfficiënt aan de Heavisidelaag voorstelt, ϱ_2 dien aan het aardoppervlak (beide genomen voor de gereflecteerde amplitudo), terwijl h de hoogte voorstelt van de éénmaal gereflecteerde „piek", h' die van de begrensde „piek", zoo zal, indien de n^e reflectie nog juist zichtbaar is, de betrekking gelden

$$h\,\varrho_1^{\,n-1}\,\varrho_2^{\,n-1} = n\,h'$$

Immers voor de n^e reflectie zou de amplitudo n maal zoo klein zijn als bij de eerste, indien de reflectiecoëfficiënten $= 1$ waren. Zijn deze resp. ϱ_1 en ϱ_2, zoo geldt bovenstaande betrekking.

Bij de gebezigde installatie bedroeg h/h' ongeveer 12 à 15, terwijl uit het bekende geleidingsvermogen van de aarde volgt $\varrho_2 = 0.83$. Voor $n = 3$ vinden we $0.6 > \varrho_1 > 0.54$, terwijl voor $n = 5$ (de vijfde reflectie was vaak waarneembaar) verkregen wordt, dat ϱ_1 tusschen 0.92 en 1.0 is gelegen, welke laatste

waarden zich goed aansluiten bij vroegere waarnemingen [1]). Zoo werd op 21 November 1931 om 13.00 uit interferentiewaarnemingen eene waarde van den reflectiecoëfficiënt van 0.07 berekend, waarbij de hoogte van de reflecteerende laag op 120 km. werd aangenomen (op grond van waarnemingen van Appleton). Met het oog op het thans aanwezige waarnemingsmateriaal moet echter geconcludeerd worden, dat deze hoogte vermoedelijk ongeveer 200 km. bedragen heeft, waardoor de waarde van den reflectiecoëfficiënt 0.12 wordt. Tegen zonsondergang op genoemden dag bleek deze coëfficiënt ongeveer 8 maal zoo groot te zijn, hetgeen een waarde van 0.96 geeft, die vrijwel in overeenstemming is met de boven geschatte waarde.

Verder werd waargenomen, dat meestal tegen zonsondergang en na zonsopkomst de reflecteerende laag verdubbeld was. Het is niet onwaarschijnlijk, dat dit veroorzaakt wordt door het magnetisch veld der aarde, tengevolge waarvan de reflectiehoogte voor de beide circulair gepolariseerde componenten verschillend is. Dat zulks juist bij lagen stand van de zon wordt waargenomen, hangt zeer vermoedelijk samen met de hierbij optredende grootere reflectiehoogte [2]). Dientengevolge is de vrije weglengte der electronen grooter, tengevolge waarvan zoowel de reflectiecoëfficiënt als de magnetische dubbele breking grooter worden.

Laag II. Gedurende den nacht wordt veelal eene reflecteerende laag waargenomen, die in verschillend opzicht duidelijk van de andere lagen te onderscheiden is.

In de eerste plaats treedt deze laag slechts af en toe op; in het najaar van 1932 slechts zelden, in de eerste maanden van 1933 vaker. In fig. 3 is eene grafische voorstelling weergegeven van het totale aantal uren, gedurende welke in de verschillende maanden laag II gemiddeld is waargenomen. Voorts is in fig. 2a bij elke waarneming het aantal uren van het optreden van deze laag aangegeven door een verticale lijn, in lengte evenredig aan dezen tijd.

In de tweede plaats is de hoogte van deze laag grooter dan die van laag I; als gemiddelde kan eene hoogte van omstreeks 400 km. worden aangenomen.

In de derde plaats geeft de registratie van deze laag eene veel

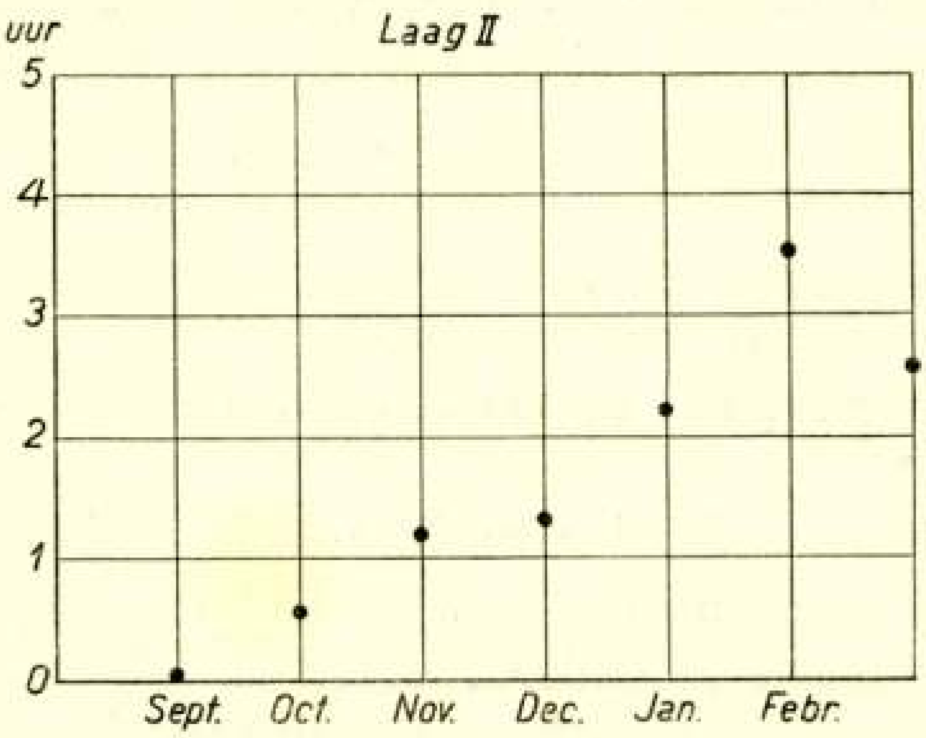
---

[1]) Tijdschr. Ned. Rad. Gen. **5**, p. 138, 1932.

[2]) Tijdschr. Ned. Rad. Gen. loc. cit. p. 139.
El. Nachr. Techn. loc. cit. p. 6.

grootere dikte te zien, dan van laag I, hetgeen veroorzaakt wordt door het optreden van tusschen zekere grenzen gelegen, sterk variabele, „pieken", terwijl de laag als geheel meestal enkelvoudig wordt waargenomen. Zeer vermoedelijk hangen deze beide omstandigheden samen. Immers de variabele reflectiehoogte doet denken aan het optreden van „ionenwolken" binnen een zeker hoogteïnterval, die noodzakelijkerwijze behalve reflectie ook eene sterke absorptie moeten veroorzaken, tengevolge waarvan de reflectiecoëfficiënt klein zal zijn. In dit verband is het wel opmerkelijk, dat in sommige gevallen, waarbij laag II twee- of drievoudig wordt waargenomen tevens de „dikte" dezer laag op de filmstrook geringer is.

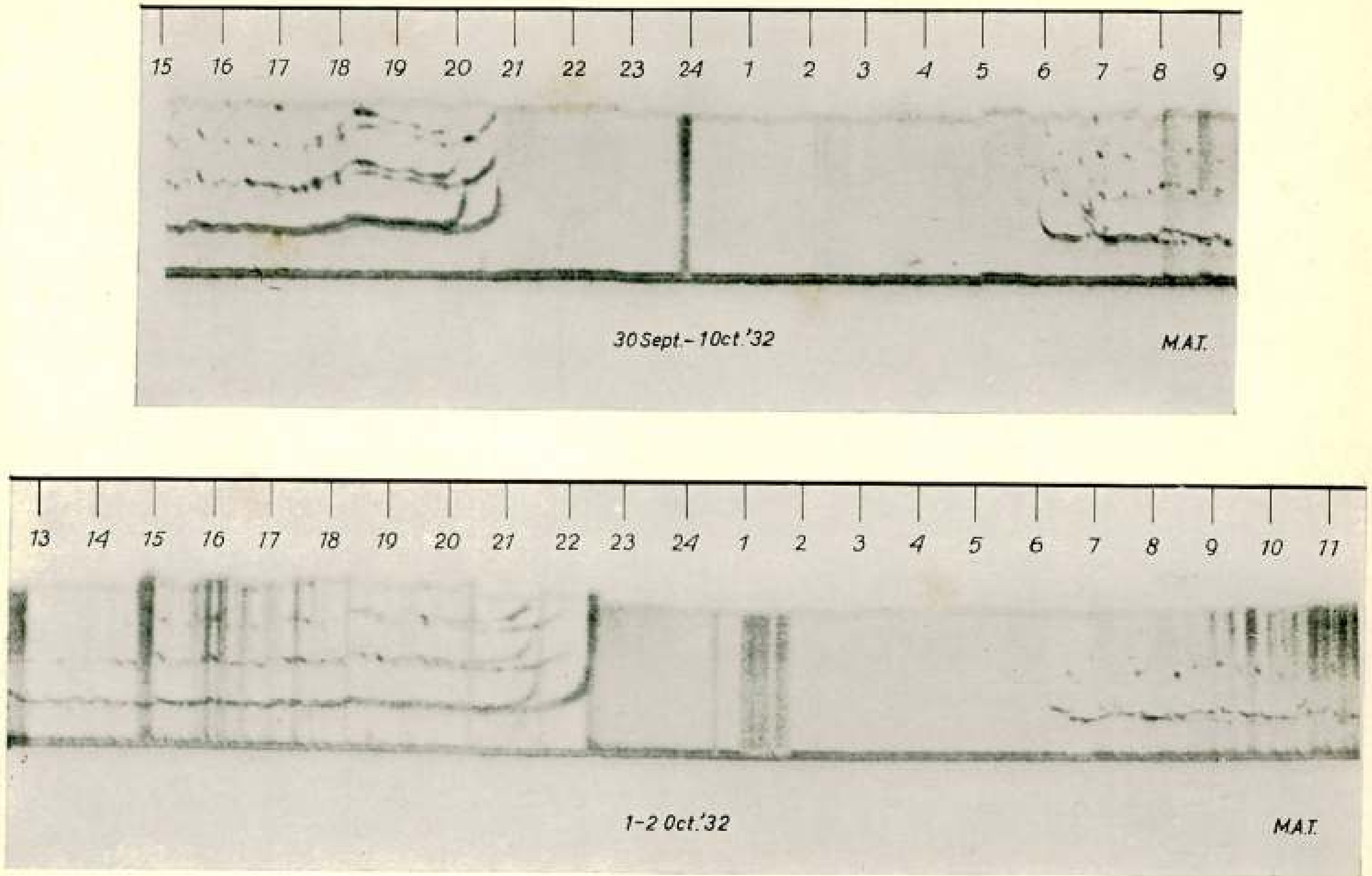
Laag III. Op verschillende tijdstippen, doorgaans slechts gedurende korten tijd, wordt op veel geringere hoogte (omstreeks 100 km.) een derde laag waargenomen. Deze treedt zoowel over-



Figuur 3.
Het aantal uren, gedurende welke laag II per maand is waargenomen.

dag als ook des nachts af en toe op en heeft steeds dezelfde hoogte. Er kon niet worden geconstateerd, dat de frequentie van het voorkomen dezer laag in het eene jaargetijde anders was dan in het andere. De indruk van deze laag op de filmstrook werd steeds door eene vrij dunne lijn weergegeven, terwijl de reflectie af en toe tweevoudig was. Bij eene enkele waarneming werd een indruk op de filmstrook geconstateerd, die veroorzaakt moest zijn door eene meervoudige reflectie, eenmaal aan laag I en eenmaal aan laag III, waarbij deze laag dus tweemaal werd gepasseerd.

In de figuren 4, 5, 6 en 7 zijn enkele waarnemingsresultaten



Figuur 4.



Figuur 5.

Eenige waarnemingsresultaten van verschillende maanden van het jaar.

weergegeven van verschillende maanden van het jaar. Daarop is het boven uiteengezette duidelijk zichtbaar.

Uit het totale waarnemingsmateriaal blijkt ten duidelijkste, dat laag I gebonden is aan de directe zonnestraling. Dat hier geladen corpuscula ioniseerend zouden werken, is niet zeer waarschijnlijk. In de eerste plaats toch zal de emissie dezer corpuscula vermoedelijk zeer variabel zijn, terwijl laag I bij alle waarnemingen geconstateerd is. Voorts zou, waar de ionisatie op een hoogte van 200 à 250 km. wordt waargenomen, de aanvangssnelheid, waarmede de corpuscula den dampkring der aarde bereiken, slechts gering kunnen zijn, waardoor ze zoo sterk door het aardmagnetische veld zouden worden beïnvloed, dat ze niet alleen de dagzijde der aarde, doch evengoed de nachtzijde zouden bereiken. Daarentegen leert de waarneming, dat laag I de directe zonnestraling volkomen volgt. Het zou denkbaar zijn, dat laag I haar ontstaan te danken zou hebben aan neutrale corpuscula, door de zon uitgezonden. Echter pleit het feit, dat laag I steeds wordt waargenomen, er veel meer voor, dat deze laag veroorzaakt wordt door de ultraviolette straling van de zon. Er is ook geen argument aan te geven, dat bepaald tegen deze opvatting zou pleiten.

Uit vroegere publicaties [1]) volgt bij een invalshoek $= 0$ voor het aantal ionen resp. electronen ter hoogte, waar de reflectie plaats vindt, de uitdrukking

$$n_I = \frac{m\,(\omega^2\, l^2 + v_o^2)}{4\,\pi\, q^2\, l^2} \left(\frac{v_o}{\omega\, l}\right)^{\mu} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

waarin m de massa van een electron,
l de vrije weglengte van een electron,
v_o de thermische snelheid van een electron,
q de lading van een electron,
ω de hoekfrequentie der electromagnetische golven,
n_I het aantal ionen, resp. electronen per eenheid van volume

voorstelt, terwijl μ een exponent is, die voor $\omega\, l >> v_o$ de waarde heeft $\frac{a_I}{k}$, voor $\omega\, l << v_o$ daarentegen $-\frac{a_I}{k}$, waarin a_I de

---

[1]) Tijdschr. Ned. Rad. Gen. **5**, p. 27 v.v., 1931.
Proc. Inst. Rad. Eng. **19**, p. 895 v.v., 1931.

exponentiëele constante voorstelt, die de dichtheidsverandering van de atmosfeer met de hoogte aangeeft, terwijl k de exponentiëele constante voorstelt, die de verandering van het geleidingsvermogen, resp. de diëlectrische constante met de hoogte aangeven. Bovenstaande uitdrukking kan gemakkelijk worden afgeleid uit de loc. cit. gegeven formules. Indien v_o ten opzichte van ωl wordt verwaarloosd, zoo wordt met $\varphi = o$ form. (24) (loc. cit. bldz. 28) verkregen.

Verder blijkt uit de waarnemingen van het najaar 1932, dat voor het vormen van de laag na zonsopgang een tijdsinterval van ruim twee uur noodig is. Op dit ionisatieproces zal de bekende uitdrukking [1]) van toepassing zijn

$$n_{1\,t} = n_1 \frac{e^{2 n_1 a t} - 1}{e^{2 n_1 a t} + 1} ,$$

waarin $n_{1\,t}$ het aantal ionen resp. electronen per eenheid van volume op zekeren tijd,

n_1 het aantal ionen resp. electronen per eenheid van volume na oneindig langen tijd,

a den coëfficiënt van recombinatie

voorstelt, waarbij is aangenomen, dat de ionisator ten tijde $t = o$ begint te werken. We kunnen aannemen dat voor $2 n_1 a t = 1$ de ionisatietoestand practisch reeds bereikt is. Met behulp van den waargenomen tijd en de bovenstaande uitdrukking voor n_1 kunnen we den recombinatiecoëfficiënt a bepalen. Maken we gebruik van het experimenteele resultaat van Langevin [2]), dat de recombinatiecoëfficiënt evenredig is met de dichtheid van het gas, zoo kunnen we de dichtheid van het gas op de hoogte, waar de reflectie plaats vindt, bepalen. De dichtheid n van het gas aldaar hangt samen met de dichtheid n_o aan het oppervlak der aarde volgens de uitdrukking

$$n = n_o \, e^{-\int_o^{h_1} a_1 \, dh} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2),$$

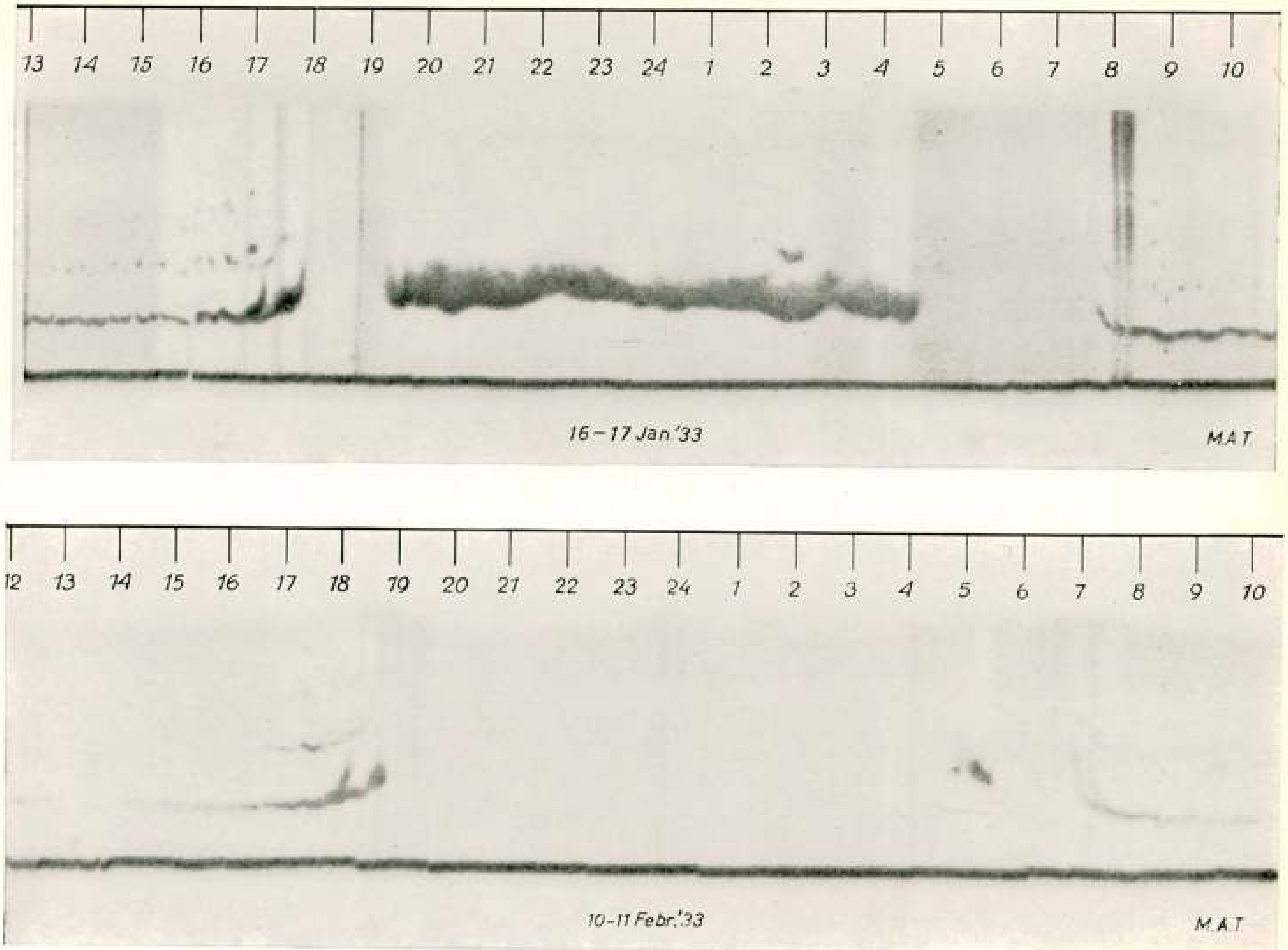
waarin h_1 de reflectiehoogte voorstelt.

Op deze wijze wordt gevonden nagenoeg $\int\limits_o^{h_1} a_1 \, dh = 9{,}2.$

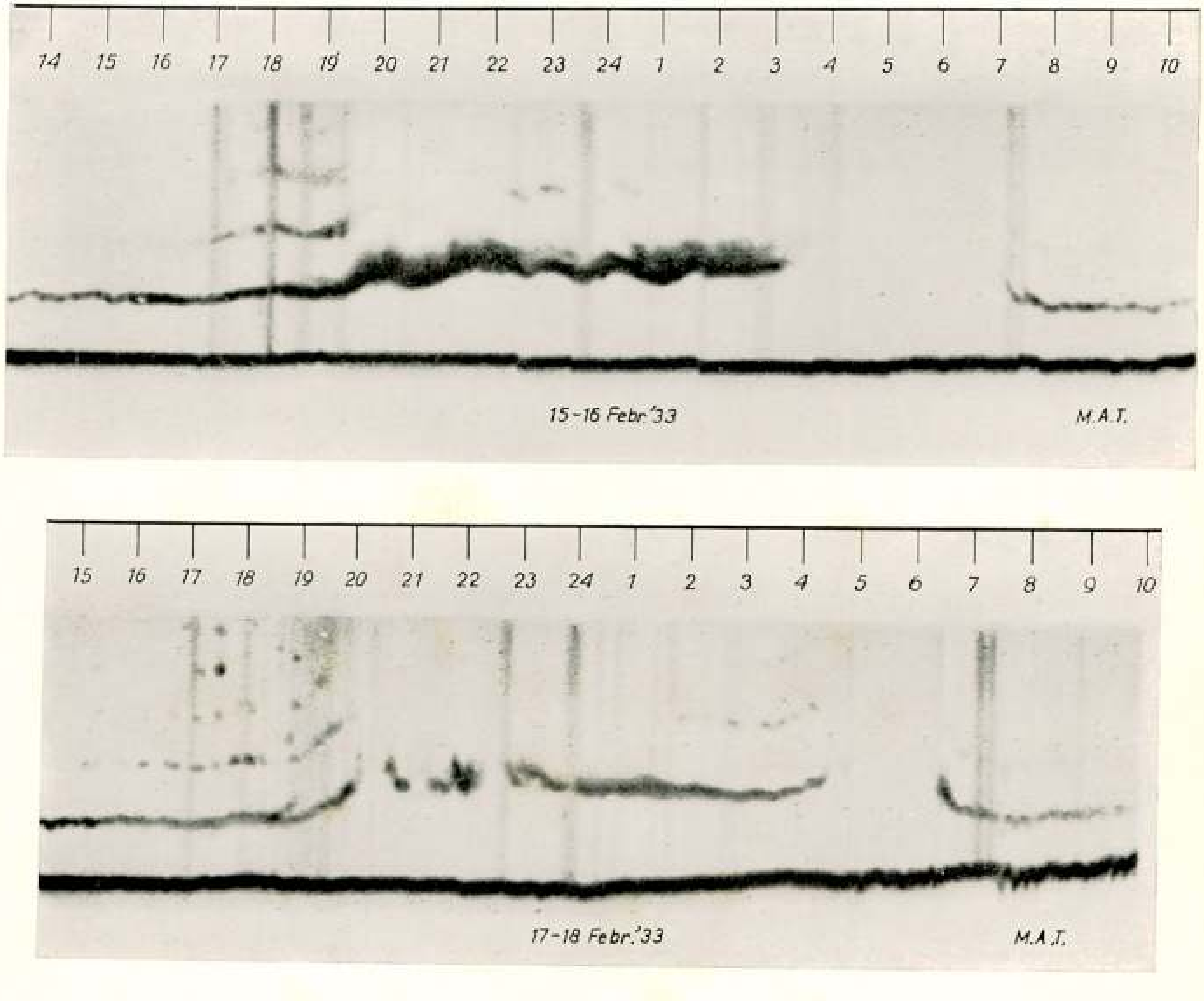
---

[1]) Zie o.a. J. J. Thomson, Elektr. Durchg. in Gasen, Leipzig 1906, p. 16.

[2]) Ann. d. Chim. e. d. Phys. (7), **28**, p. 433, 1903.



Figuur 6.



Figuur 7.

Eenige waarnemingsresultaten van verschillende maanden van het jaar.

Aangezien a_r omgekeerd evenredig is met de absolute temperatuur, kan hieruit een conclusie worden getrokken omtrent deze temperatuur, die ter hoogte, waar de reflectie plaatsvindt, ongeveer 400° à 500° C. zou bedragen, hetgeen zich vrijwel aansluit aan de moderne opvattingen van vele meteorologen [1]).

Het is niet onwaarschijnlijk, dat de oorzaak van de ionisatie in laag II gezocht zal moeten worden in geladen corpusculaire stralingen, die op verschillende tijden in ongelijke mate door de zon worden geëmitteerd en zoowel de dag- als de nachtzijde van de aarde kunnen bereiken. Hierop wijst het feit, dat deze laag slechts af en toe, soms slechts gedurende zeer korten tijd, wordt waargenomen. Daar laag II zeer hoog ligt, kunnen de betreffende corpuscula slechts een geringe energie bezitten, die binnen een zeker interval variëert, aangezien de „dikte" der laag meestal betrekkelijk groot is. De corpuscula moeten geladen zijn, aangezien het anders niet mogelijk zou zijn de nachtzijde der aarde te bereiken.

Gedurende de maanden Januari en Februari van 1933 werd laag II veel vaker waargenomen dan in het najaar van 1932. Het is niet onmogelijk, dat hiermede samenhangt de grootere hoogte van laag I, die in den winter van 1932 werd gevonden. Immers de corpusculaire straling zal de hoogere atmosfeer verwarmen en dientengevolge eene langzamere vermindering van de dichtheid met de hoogte tengevolge hebben, waardoor ook laag I eene grootere hoogte verkrijgt. Ook is het niet ondenkbaar, dat de onregelmatigheden in de in fig. 2a weergegeven krommen, waarvan op bldz. 58 sprake was, samenhangen met het optreden van laag II. Dat laag II niet bij dag wordt waargenomen, wil nog niet zeggen, dat er bij dag op grootere hoogte dan die van laag I geen ionisatie aanwezig is. Immers de aanwezigheid van laag I kan beletten, dat de straling tot grootere hoogte doordringt, ook indien de reflectiecoëfficiënt van laag I veel van de eenheid verschilt.

Ook laag III moet zeer vermoedelijk aan geladen corpusculaire stralen worden toegeschreven, doch de energie der stralen zal veel grooter zijn in verband met de kleinere hoogte van laag III. Opmerkelijk is, dat deze hoogte en dus ook de energie der stralen, steeds vrijwel even groot is.

---

[1]) Zie Gowen, Intern. Res. Counc., Third Rep. Comm. Solar a. Terrestrial Relationships, 1931.

De bij onze waarnemingen optredende laag III is vermoedelijk aequivalent met de E-laag van Appleton, terwijl de met F aangeduide laag [1]) misschien geïdentificeerd moet worden met onze laag I.

[1]) Proc. Roy. Soc. A **126**, p. 542, 1930.

KORTE-GOLF OMROEP IN NEDERLANDSCH-INDIË

door

W. G. KUYCK

Nederlandsch-Indische Radio Omroep Maatschappij

Naar een voordracht voor het Nederlandsch Radio Genootschap op 8 October 1932 te Amsterdam

De Nederlandsch-Indische Radio Omroep Maatschappij (NIROM) heeft eind 1930 te Tandjong Priok een door Philips-NSF vervaardigden experimenteelen omroepzender opgesteld om daarmede proeven te nemen in verband met de door haar aangevraagde concessie voor een omroepbedrijf voor Nederlandsch-Indië.

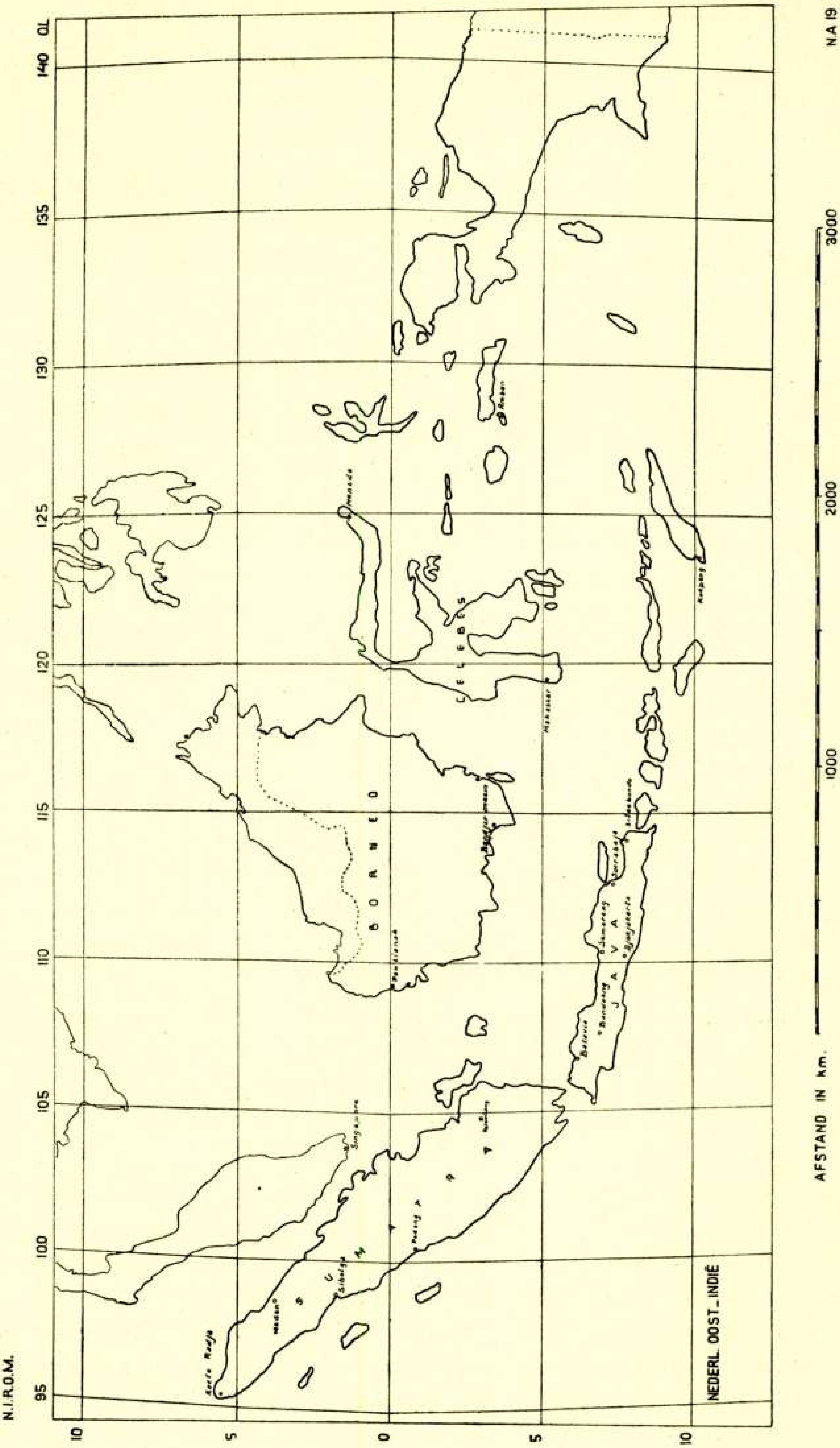
Deze opstelling en de daarop gevolgde proefnemingen geschiedden onder leiding van Ir. W. A. J. Liebert.

Bij dien omroep moet men twee gebieden onderscheiden, n.l. het bestrijken van het eiland Java en een omroep, welke in geheel Nederlandsch-Indië goed hoorbaar is.

Wanneer men de kaart van Nederlandsch-Indië bekijkt, dan is het, met de kennis van de luchtstoringen in de tropen en de ervaringen van den Britsch-Indischen Omroep (op golven tusschen 300 en 400 m), duidelijk, dat hier geen middengolven kunnen worden toegepast.

In de eerste plaats zijn daarom proeven genomen op korte golven, waarbij de NIROM uiteraard beperkt was tot de frequentiebanden, welke voor radio-omroep zijn aangewezen bij het internationaal radio-telegraaf verdrag van Washington 1927.

Daaruit werden frequenties gekozen, welke blijkens de ervaring in het andere radio-verkeer in Nederlandsch-Indië goede nacht- of goede daggolven zouden zijn op middelbare en groote afstanden.


N.I.R.O.M.
NEDERL. OOST_INDIË
AFSTAND IN km.
N.A 19
B O R N E O
C E L E B E S
J A V A
S U M A T R A
140 OL
0
1000
2000
3000

De gekozen frequenties zijn:

6060 kp/s (49,5 m),
9580 kp/s (31,3 m),
15340 kp/s (19,56 m).

Om den invloed van het uur van den dag te kunnen nagaan, werden 5 verschillende uren gekozen zoo, dat 3 uitzendperioden vielen overdag en 2 bij avond.

De uitzendperioden waren:

7.— — 7.30	morgen	alles
10.30 — 11.30		
13.— — 14.—	middag	midden-Java
19.15 — 20.15	avond	tijd.
20.45 — 21.45		

Over de verschillende dagen van de week verdeeld, werd gedurende de 5 perioden een vaste golf uitgezonden.

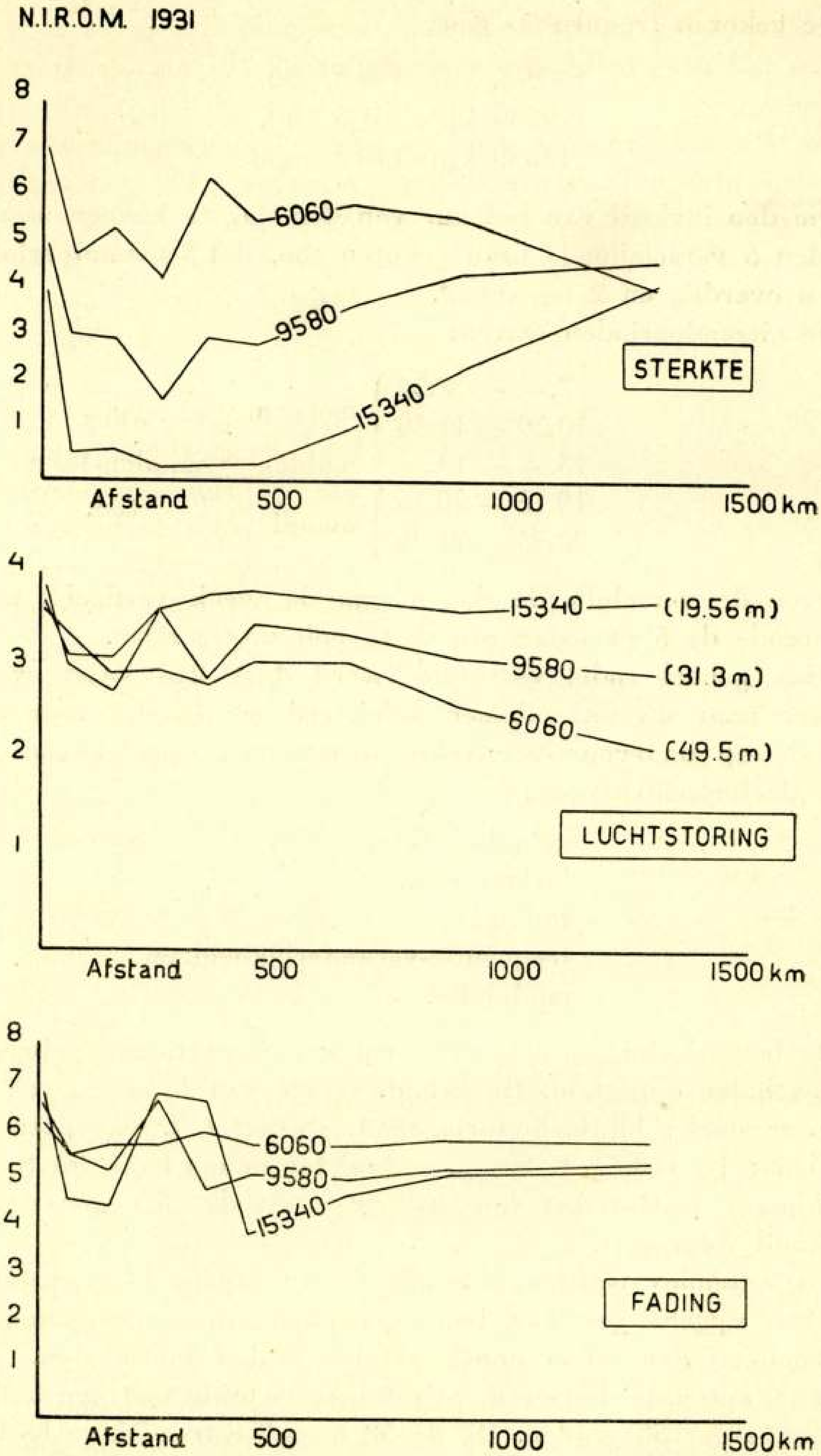
Over geheel Indië verspreid, werd door 210 vaste waarnemers naar de uitzendingen geluisterd en daarbij voor elke periode op daarvoor verstrekte formulieren opgeteekend een beoordeelingscijfer voor:

geluidssterkte,
luchtstoring,
fading,
frequentie-veranderlijkheid en
modulatie.

De beoordeelingscijfers waren volgens internationaal gebruikelijke schalen opgesteld. Bij geluidssterkte van 1. zeer zwak tot 8. zeer sterk; bij luchtstoringen 1. sterk tot 4. van geen beteekenis; bij fading 1. traag en snel tot onhoorbaar tot 8. onmerkbaar; zoodat het hoogste cijfer steeds den gunstigsten toestand weergeeft.

Als antennes werden gebruikt zuiver afgepaste horizontale dipolen, opgehangen aan bamboe-masten en schuine antennes, opgehangen aan 33 m hooge getuide stalen buismasten. De schuine antennes liepen in Westelijke richting met een helling van ongeveer 56 graden. Bij de 50 m golf waren 2 kwartgolven boven elkaar, bij 31 m iets minder dan 2 halve golven en bij de 20 m 2 halve golven boven elkaar, gevoed met staande golven.

Om den invloed van de antennesoort te kunnen nagaan, werden in den proeftijd, zonder de luisteraars te waarschuwen,



AVONDWAARNEMINGEN OP VERSCHILLENDE AFSTANDEN
GEMIDDELD OVER ALLE MAANDEN

de antennes regelmatig onderling verwisseld. Bij de 50 m werd korten tijd een combinatie van schuine en horizontale antennes gebruikt.

Het antennevermogen werd bij alle golven en gedurende den geheelen proeftijd zoo nauwkeurig mogelijk gelijk gehouden op een waarde tusschen 800 en 1000 W.

Uiteraard beschikten de waarnemers niet over nauwkeurige meetinstrumenten en de beoordeelingscijfers moeten als individueele schattingen worden aangemerkt, hetgeen evenwel door het groote aantal goed werd gemaakt.

In verband met het voorgaande zijn in de hierbij gaande grafische voorstellingen niet verwerkt de rapporten uit plaatsen, welke verder dan 1500 km van Tandjong Priok verwijderd zijn, omdat daarbuiten slechts 8 vaste waarnemers deelnamen. De ingezonden rapporten uit die verder afgelegen plaatsen sluiten echter zeer goed aan bij de gemiddelden, in het gebied binnen 1500 km verkregen.

Half Februari werden de geregelde uitzendingen begonnen.

De waarnemingen in Februari zijn niet in de grafieken verwerkt, alhoewel ook die daar goed in pasten, om alleen volle maanden in beschouwing te nemen en omdat aangenomen kan worden, dat de waarnemers eind Februari voldoende geoefend zouden zijn.

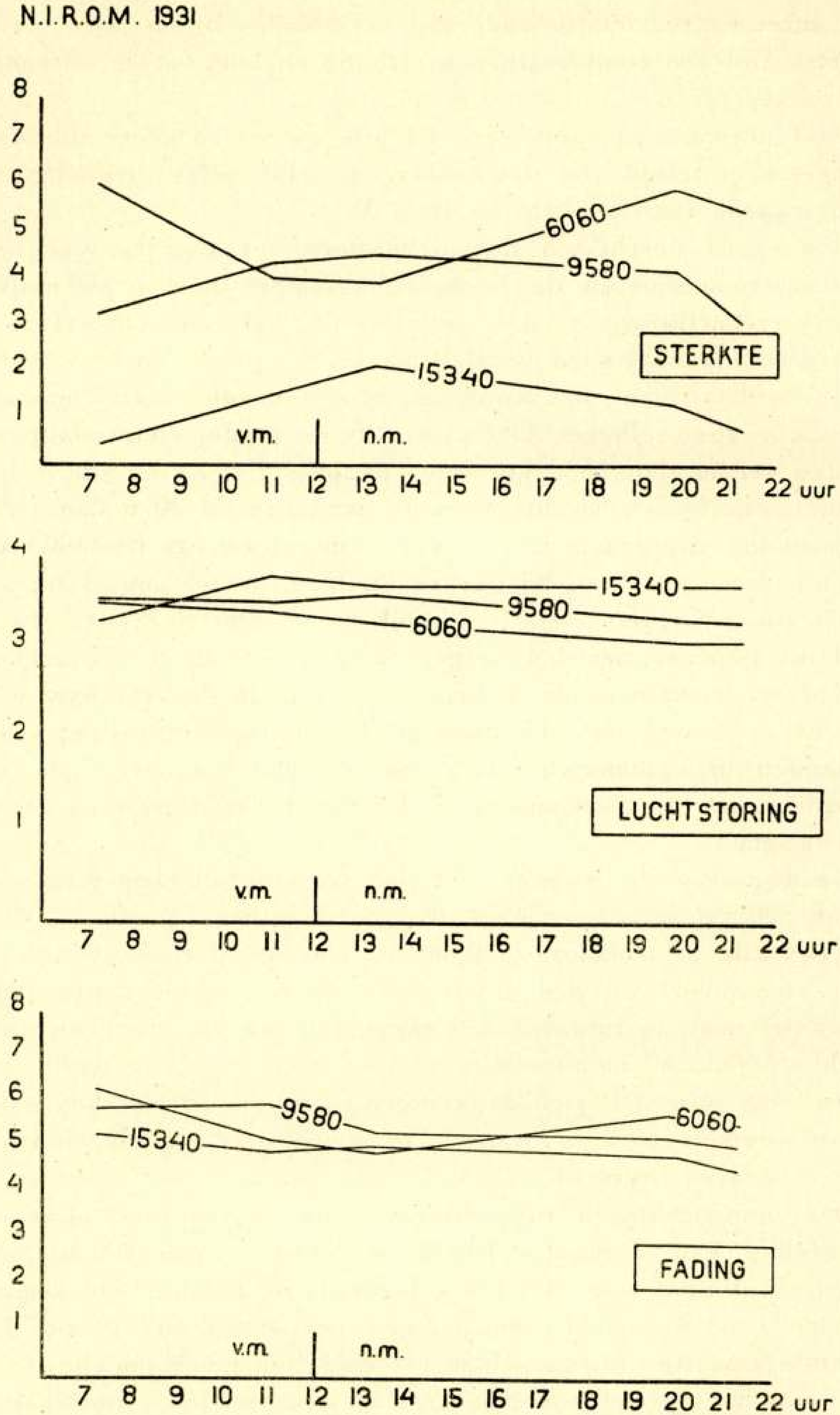
In de bijgaande grafieken werden verwerkt de rapporten over bijna 400 zenduren, verdeeld over de 3 golven.

Niet alle waarnemers hebben van elke zendperiode gedurende de 7 maanden van den proeftijd steeds een rapport gezonden. Toch kwamen in totaal 23238 rapporten binnen, waarvan bijna 9000 over de 50 m uitzendingen.

In den proeftijd viel de kentering van West-moesson naar Oost-moesson in April; vanaf Mei wordt gerekend, dat de volle Oost-moesson heerscht.

De binnengekomen rapporten werden gegroepeerd naar de afstanden van Tandjong Priok in gebieden van 100 km, op grooter afstand dan 500 km gebieden van 250 km. De gemiddelden van de avondwaarnemingen per groep zijn in de bijgaande grafieken afgezet en met rechte lijnen verbonden.

Voor het gebied tusschen 500 en 750 km (o.a. Soerabaja), waarin 60 waarnemers woonden, dus het beste gemiddelde verwacht kon worden, werden de rapporten bovendien gegroepeerd volgens de 5 genoemde uitzendperioden, om na te kunnen gaan, hoe de invloed was van den stand van de zon.



WAARNEMINGEN OP BEPAALDE UREN, GEBIED 500-750 km.
GEMIDDELD OVER ALLE MAANDEN.

Voorts werd voor dat gebied een gemiddelde berekend van de avondwaarnemingen, gegroepeerd per maand, om den invloed van het jaargetijde te bestudeeren.

Daar de beoordeeling van sterkte, luchtstoring en fading nauw verband met elkander houden, worden deze drie gegevens onder elkaar afgedrukt.

In de eerste grafiek, de avondwaarnemingen gegroepeerd volgens den afstand, werden, om de overzichtelijkheid niet te schaden, geen dagwaarnemingen verwerkt.

De lijn van de gemiddelde sterkte van de dagwaarnemingen loopt bij 50 en 20 m tot 500 km ongeveer gelijk aan die van de avondwaarnemingen; bij de 31 m liggen de dagwaarnemingen boven de avondwaarnemingen.

Op afstanden, grooter dan 500 km, loopt de 50 m lijn van de dagwaarnemingen vrij snel naar beneden en ligt bij 1500 km reeds onder het beoordeelingscijfer 1.

De overige dagwaarnemingen wijken niet zoo markant af van de avondwaarnemingen.

De binnengekomen cijfers voor frequentie-veranderlijkheid en modulatie werden niet in grafieken afgezet, omdat deze, op uitzonderingen na, gunstig luiden.

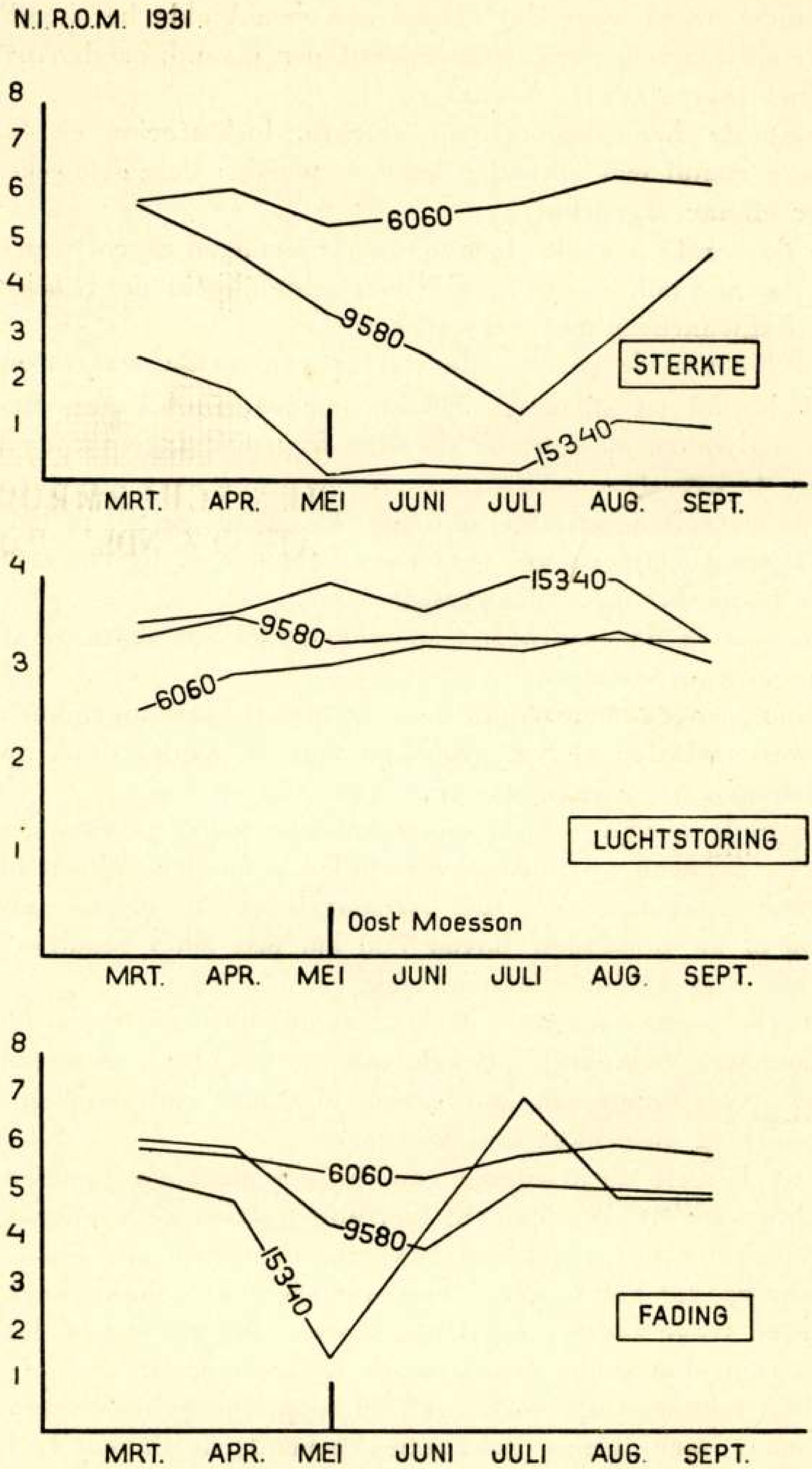
De invloed van de gebruikte antenne werd nagegaan, doch er werden geen opvallende verschillen gevonden; alleen bleek, dat een combinatie van de horizontale en de schuine antenne op 50 m en afstanden boven 700 km een beter resultaat gaf dan een dier antennes afzonderlijk.

Voorts werd nagegaan, of het gemiddelde van de rapporten uit Sumatra belangrijk afweek van die van Java, doch de gevonden verschillen zijn zoo gering, dat niet van een bepaalde richtwerking gesproken kan worden.

Wat betreft de afwijking van de individueele rapporten ten opzichte van de gemiddelden, kan nog worden medegedeeld, dat de verschillen het grootst waren over de eerste 500 km.

Voor zoover het mogelijk was, onderscheid te maken tusschen snelle en trage fading, werd opgemerkt, dat althans bij de 50 m meer trage dan snelle fading werd waargenomen.

Over telefonie op korte golf in tropische gebieden zijn ons nog maar zeer weinig publicaties bekend; de daarin vervatte vergelijkbare gegevens komen vrij goed overeen met de thans door Ir. Liebert in Indië verkregen resultaten.



AVONDWAARNEMINGEN PER MAAND
IN HET GEBIED 500–750 km.

VOORTPLANTING DES NACHTS VAN GOLVEN VAN 150—2000 KC/S (2000—150 METER) OVER AFSTANDEN VAN 50—5000 K.M.

door

Dr. BALTH. VAN DER POL

In Deel VI No. 2 van dit Tijdschrift publiceerden wij een rapport (met grafieken) betreffende de voortplanting van golven tusschen 150 en 2000 kc/s (2000 tot 150 m golflengte) over afstanden van 50 tot 2000 km. Dit rapport was samengesteld door een Comité van 4 leden van Subcommissie 1 der Technische Commissie van de Internationale Radiotelegrafische Conferentie te Madrid van 1932.

In haar 4de zitting te Luzern van 19 Mei 1933 heeft Commissie 1 (Voorzitter M. Phillips) van de Europeesche Omroep Conferentie te Luzern een comité gevormd ter bestudeering van de voortplanting van omroepgolven. Dit comité was als volgt samengesteld:

Dr. Balth. van der Pol, *Voorzitter*,
N. Ashbridge,
Commandant Bion,
Dr. Harbich,
V. Shostakovitch.

met de latere medewerking van Dr. P. David.

Het door dit comité ingediende rapport kan worden beschouwd als een aanvulling van het Madridsche rapport. De vertaling ervan volgt hieronder.

Voortplanting van golven in de band van 150—1500 kc/s (2000—200 m).

Dit rapport bedoelt te zijn een aanvulling op het „Rapport van het Comité van der Pol betreffende de voortplanting van golven van 150—2000 kc/s over afstanden van 50—2000 km", aangeboden aan de Conferentie van Madrid als Document No. 383.

Laatstgenoemd rapport was een samenvatting in den vorm van grafieken, van de kennis die men bezat omtrent velden welke voortgebracht werden op afstanden van 50 tot 2000 km, zoowel overdag als 's nachts.

1. Als geheel is de juistheid van de conclusie's van dat rapport bevestigd bevonden door talrijke daarna verrichte metingen, met name wat betreft de velden 's nachts. Wat betreft de velden overdag is er aanleiding tot het in acht nemen van het volgende voorbehoud:

De daggrafieken moeten worden beschouwd als betrekking hebbende op directe straling. Zij zijn van toepassing midden op den dag 's zomers.

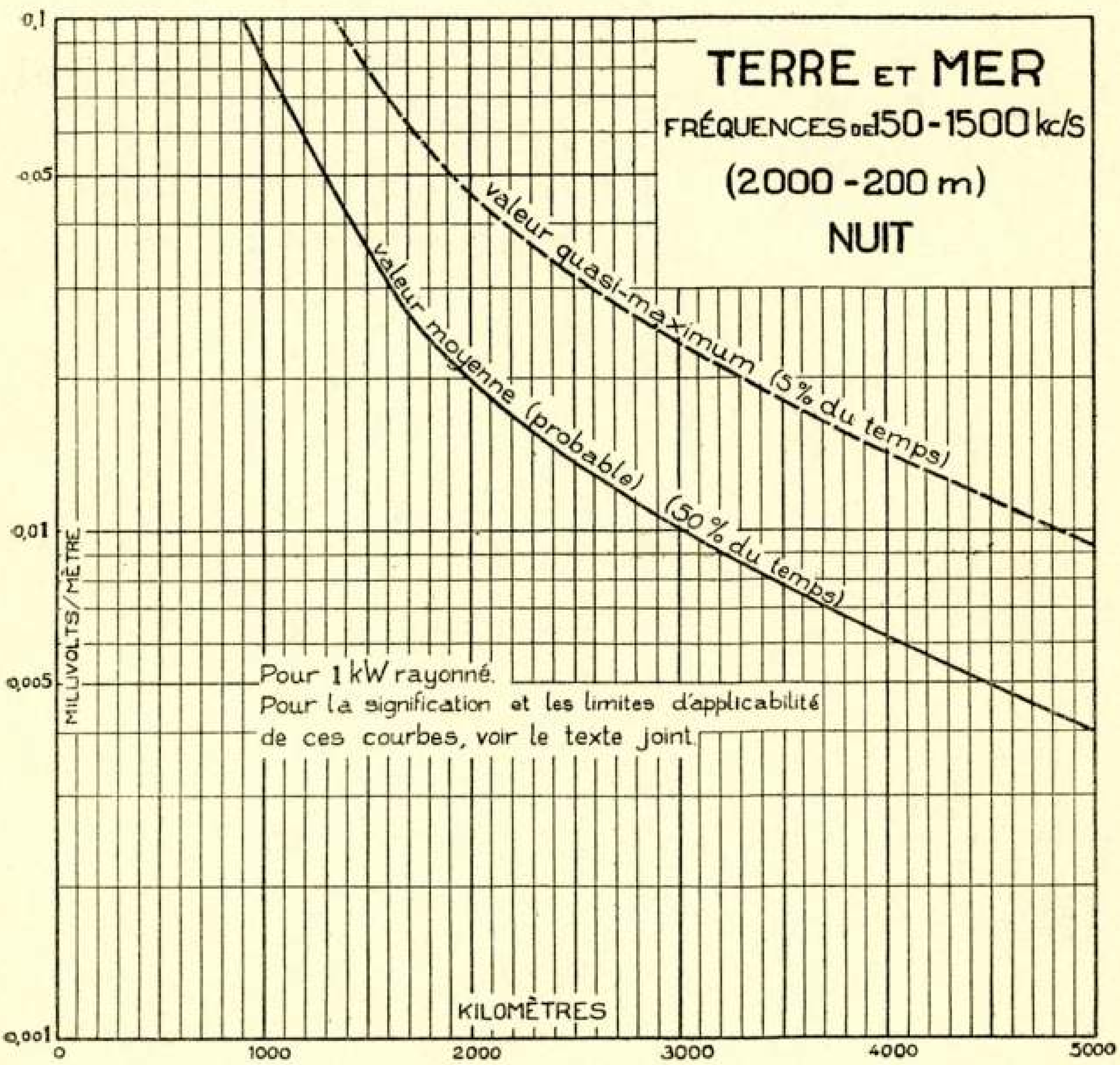
In andere jaargetijden, vooral des winters en over groote afstanden, liggen de werkelijk gemeten dagwaarden tusschen de „dag"- en „nacht"-waarden in, een aanduiding dat dan de ideale dagconditie's niet verwezenlijkt worden en dat er indirecte straling aanwezig is.

2. Ten aanzien van afstanden grooter dan 2000 km was het aantal tijdens de Conferentie te Madrid bekende metingen niet voldoende om iets anders dan een grootte-orde aan te geven.

In het afgeloopen tijdvak zijn verscheiden serie's metingen verricht en ter beschikking van het Comité gesteld. Bijlage I bevat een overzichtslijst van deze metingen. Deze nieuwe gegevens hebben betrekking op verscheiden honderden waarnemingsuren, verdeeld over een jaar en op verschillende plaatsen; zij lijken voldoende voor het uitbreiden van de nachtgrafieken tot 5000 km. Men heeft vastgehouden aan de reeds te Madrid ingevoerde begrippen van gemiddeld (of waarschijnlijk) en van quasi-maximum veld, gedefinieerd als zijnde die waarden welke door de oogenblikkelijke waarden gedurende 50 % resp. 5 % van den tijd (voor een langeren tijd van waarneming) worden overschreden. Men heeft de voorkeur gegeven aan het quasi-maximum boven het absolute maximum, omdat dit laatste zich

slechts zelden voordoet en overigens afhankelijk is van den duur der waarnemingen.

Bijgevoegde grafiek stelt het door 1 KW stralingsenergie veroorzaakte veld voor (antenne zonder richtwerking). Dat veld is uitgedrukt in millivolts effectief per meter, als functie van de afstand in km. In eerste benadering is de waarde ervan onafhankelijk van de frequentie voor de beschouwde frequentieband; ze is eveneens onafhankelijk van den aard van den bodem (land of zee).



Als de gestraalde energie W kilowatt bedraagt moeten de aangegeven resultaten vermenigvuldigd worden met $\sqrt{W}$.

Het is van belang hier te herhalen dat deze waarden slechts gemiddelden zijn; de waarnemingen bewegen zich tusschen een derde en het drievoud van de aangegeven waarden. Hieronder worden eenige oorzaken der afwijkingen gegeven:

Stralingsdiagrammen der zend-antenne's, en aard van het terrein in de onmiddellijke omgeving van deze antenne.

Toestand van de ionosfeer, in het bijzonder de invloed van de hoogte, van de geografische ligging van de verbindingslijn der stations, met name t.o.v. de magnetische pool; jaargetijde, zonne-activiteit.

Volgens zekere waarnemingen zou de mogelijkheid bestaan van een geringen invloed van bodemgesteldheid en van frequentie; en verder dat het veld boven de zee sterker zou zijn dan boven den vasten bodem, en sterker voor de lagere frequenties dan voor de hoogere frequenties.

Dr. Balth. van der Pol, *(Voorzitter)*,
Noel Ashbridge,
Bion,
Dr. P. David,
Dr. H. Harbich,
Vladimir Shostakovitch.

BIJLAGE I

1. Document No. 383 R van de Conferentie te Madrid (zie: Extrait des Documents de la Conférence radiotélégraphique internationale de Madrid (1932), Commission technique, page 908) (Comité Dr. van der Pol).
2. „Report of committee on radio propagation data (8274) 28 mars 1933 (U. S. A. group preparing for the North American radio Conference, president Dr. Dellinger)", medegedeeld door Dr. Dellinger.
3. Overzicht van metingen, uitgevoerd in de U. R. S. S. gedurende 1932, medegedeeld door M. Shostakovitch.
4. Meetresultaten in Duitschland, medegedeeld door Dr. Harbich.
5. Meetresultaten in IJsland, medegedeeld door M. G. Briem.
6. Meetresultaten van de B. B. C., medegedeeeld door N. Ashbridge.
7. Meetresultaten in Italië, medegedeeld door M. S. Bernetti.
8. Rapport van het Laboratoire national de radioélectricité te Parijs, medegedeeld door Prof. Gutton.
9. „Mesures de rayonnement", par P. David; Revue générale d'électricité, 13 Mei 1933.
10. Meetresultaten van het Philips' Laboratorium te Eindhoven, medegedeeld door Dr. van der Pol.
11. „Etude sur la valeur quasi-maximum et sur la valeur moyenne de nuit du champ des stations de radiodiffusion aux environs de 250 m", en andere meetresultaten van het Centre de contrôle de l'U. I. R. te Brussel, medegedeeld door M. Braillard.
12. „Contribution à la question du rayon d'action agréable", Pologne, document No. 104 van de Conferentie van Luzern.
13. „Bemerkungen über das Ausbreitungsgesetz für lange elektrische Wellen und die Wirkung der Heavisideschicht", von F. Noether, E. N. T. **10**, 160, 1933.
14. Meetresultaten van de Marconi Company, medegedeeld door T. L. Eckersley.
15. Transatlantische meetresultaten, medegedeeld door Colonel A. S. Angwin.

HET OPWEKKEN VAN SINUSOIDALE TRILLINGEN MET EEN TRILLINGSTIJD, BEPAALD DOOR EEN RELAXATIETIJD

door

J. VAN DER MARK EN BALTH. VAN DER POL

Natuurkundig Laboratorium der N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland)

Summary.

The present note concerns a retroactive resistance capacity coupled triode amplifier, consisting of *three* (or more) instead of the usual *two* stages as in the multivibrator. The analysis and the experiment show that such a three stage circuit produces again oscillations, but this time of a very nearly sinusoidal waveform over a wide range of retroaction, but again the time period is determined by a relaxation time. With such a system it is relatively simple to produce on the one hand sinusoidal oscillations of a period of the order of a quarter or half an hour, in which case it may take a full day for the system, starting with infinitesimal amplitude, to reach the final steady state. On the other hand it may be made to generate oscillations of the usual radio frequencies. The slowest ordinary LC oscillations so far producable with big L's and C's have a time period of the order of 1 sec. The present system therefore extends by a factor say 1500 or more the lower end of the practical range of sinusoidal oscillations. Considering the higher range of frequencies, it was thus found possible to construct a sharply tunable radio receiver without any inductance coils whatever.

A full analysis both linear and non-linear is given of this system, together with several oscillograms obtained with a recording milliammeter.

The relation of the present system with one, producing relaxation oscillations, is pointed out.

§ 1. *Inleiding.*

In een vorig artikel [1]) werd een beschouwing gegeven over trillingen, voortgebracht in een tweevoudige weerstand-capaciteit gekoppelde triode-versterker, waarvan de outputzijde teruggekoppeld was op de inputzijde. Dit systeem is bekend als de multivibrateur. Dit onderzoek leidde tot het bestudeeren van trillingen, waarvan de trillingstijd bepaald wordt door een typische relaxatietijd (CR). Doch bovendien behooren deze trillingen tot het type, waarbij het systeem één- of tweemaal gedurende een trillingstijd onstabiel wordt en de potentialen zoodoende plotselinge sprongen vertoonen. Deze trillingen werden relaxatietrillingen genoemd en wij zouden willen voorstellen, deze naam voor dit soort trillingen aan te houden.

Verder werd aangetoond dat, wanneer de terugkoppeling een waarde had dicht bij de kritische, sinusoidale trillingen optreden en inderdaad is er een continue overgang van relaxatietrillingen. naar sinusoidale trillingen. Het bleek dat een sinusoidaal systeem bij toenemende terugkoppeling geleidelijk in een relaxatiesysteem kon overgaan. Deze overgang van sinusoidale trillingen en relaxatietrillingen gebeurde in een vrij klein gebied.

In dit artikel wordt eveneens een weerstand-capaciteit gekoppelde triode-versterker met terugkoppeling beschreven, doch deze bestaat uit drie (of meer) i.p.v. twee trappen. Zoowel de theorie als het experiment toonen aan, dat zulk een drievoudige kring wederom trillingen voortbrengt, doch in dit geval van een ten naastebij sinusoidaal karakter over een ruim gebied van terugkoppeling; de trillingstijd wordt echter wederom door een relaxatietijd bepaald. Met zoo'n systeem is het betrekkelijk eenvoudig eenerzijds sinusoidale trillingen te doen ontstaan met een trillingstijd van de orde van een kwartier of een half uur, in welk geval het een geheele dag zal duren, vóór het systeem, beginnende met een infinitesimale amplitude, de eindtoestand heeft bereikt; anderzijds kan het systeem trillingen voortbrengen van de gebruikelijke radio-frequenties. De langzaamste gewone LC trillingen, welke tot nu toe met groote L's en C's konden worden verkregen, hebben een trillingstijd van de orde van 1 sec. Het systeem in kwestie breidt derhalve het onderste deel van het praktische gebied der sinusoidale trillingen met een factor 1500 of meer uit. Bij beschouwing van het hoogere frequentie-

[1]) Balth. van der Pol, Over „Relaxatietrillingen", Tijdschr. v. h. Ned. Rad. Gen., **3**, 25, 1926 en **3**, 94, 1927; Zts. f. Hochfreq. Techn., **28**, 127, 1926, **29**, 114, 1927.

gebied bleek het zoodoende mogelijk, een scherp afstembare radio-ontvanger zonder eenige inductiespoel te construeeren. Een gewone registreerende volt- en amperemeter is een zeer handig instrument ter bestudeering van het gedrag van het, langzaam trillend, systeem. Met twee van deze systemen met nagenoeg dezelfde trillingstijd, waarvan de een op de andere werkt, geeft de registratie van de voltmeter zeer duidelijk de automatische synchronisatie van een oscillator onder de invloed van een uitwendige periodische e.m.k. weer.

Tenslotte kunnen, daar het phaseverschil tusschen opeenvolgende trappen 120° bedraagt, de drie anodestroomen gebruikt worden voor het verkrijgen van een roteerend magnetisch veld.

§ 2. *Lineaire theorie.*

Teneinde een ruwe verklaring van de algemeene eigenschappen

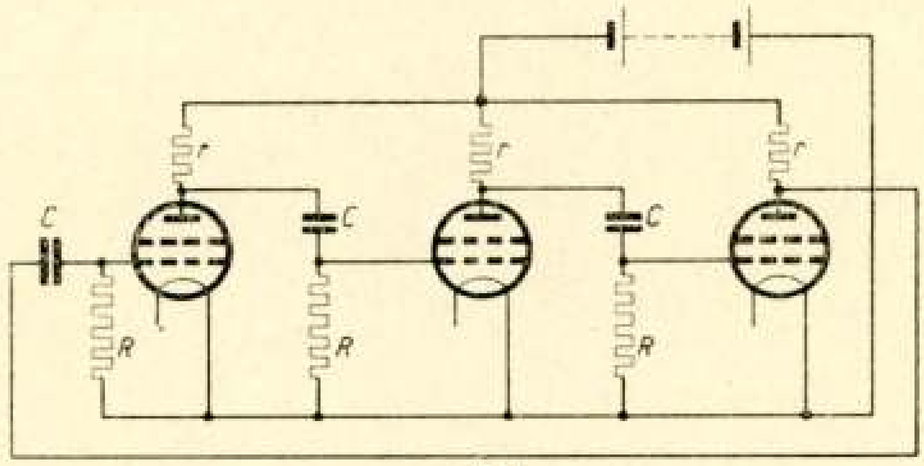


FIG 1

van de schakeling [1]) te geven, beschouwen wij eerst de lineaire theorie. Het systeem is afgebeeld in fig. 1 en bestaat uit drie, door de elementen r en C gekoppelde tetroden en lekweerstanden R. Verondersteld wordt, dat het systeem een complete drievoudige symmetrie bezit. Wanneer wij aannemen dat de anode weerstanden r klein zijn t.o.v. de inwendige differentiaal weerstand van de tetroden en wij noemen het variabele deel van de roosterpotentiaal van de n^{de} trap v_n, dan krijgen we

$$i_n = S v_n$$

waarin S de steilheid en i_n het variabele deel van de anodestroom van de n^{de} trap voorstelt.

Wanneer we verder aannemen, dat de lekweerstand $R >> r$

[1]) De eerste ons bekende verwijzing naar teruggekoppelde weerstand versterkers vinden wij in een patent van Brillouin en Beauvais (Fr. Pat. 493 332).
Zie ook: Tank u. Graf, Helv. Phys. Acta I 1928 p. 508.

en de roosterstroomen verwaarloozen, geven de gewone wetten van Kirchhoff:

$$\left(D+\frac{1}{CR}\right)v_2 + Sr\,D\,v_1 = 0\,, \qquad (1)$$

$$\left(D+\frac{1}{CR}\right)v_3 + Sr\,D\,v_2 = 0\,, \qquad (2)$$

$$\left(D+\frac{1}{CR}\right)v_1 + Sr\,D\,v_3 = 0\,, \qquad (3)$$

waarin

$$D=\frac{d}{dt}.$$

De determinant van (1), (2) en (3) is

$$\left(D\,S\,r\right)^3 + \left(D+\frac{1}{CR}\right)^3 = 0 \qquad (4)$$

of

$$\left\{D\,(1+Sr)+\frac{1}{CR}\right\}\left\{(S^2r^2-Sr+1)\,D^2+\frac{1}{CR}(2-Sr)\,D+\frac{1}{C^2R^2}\right\}=0\,. \qquad (5)$$

Beschouwen we de laatste factor het eerst, dan is het duidelijk, dat een sinusoidale oplossing van hoekfrequentie ω mogelijk is, indien

$$Sr = 2 \qquad (6)$$

en

$$\omega = \frac{1}{CR\sqrt{3}} \qquad (7)$$

en dientengevolge wordt de trillingstijd T van de trillingen

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{3}\,CR \approx 11\,CR.$$

Wanneer wij dus b.v. $C=15\mu F$ en $R=10$ megohm nemen, krijgen wij:

$$T = 11\,.\,15\,10^{-6}\,.\,10\,10^{6} = 1650 \text{ sec} \approx 28 \text{ minuten.}$$

De betrekking

$$Sr = 2 \qquad (6)$$

geeft de voorwaarde voor nuldemping voor twee der wortels van (4). De derde wortel (gegeven door de eerste factor van (5)) toont aan, dat met deze voorwaarde (6) tegelijkertijd een inschakelverschijnsel kan voorkomen in de lineaire theorie, van de vorm:

$$e^{-\frac{t}{(1+Sr)CR}} = e^{-\frac{t}{3CR}}. \tag{8}$$

Dientengevolge zal de amplitude van dit inschakelverschijnsel (8) gedurende de trillingstijd van één complete trilling dalen tot

$$e^{-\frac{2\pi\sqrt{3}CR}{3CR}} = e^{-3.63} = 0.027,$$

d.i. tot $\frac{1}{37}$ van zijn oorspronkelijke waarde, en dus mag niet verwacht worden, dat dit verschijnsel een belangrijke rol zal spelen, wanneer het systeem gaat trillen. De physische verklaring volgt duidelijk uit de oorspronkelijke vergelijkingen (1), (2) en (3) en beteekent eenvoudig, dat voor dit inschakelverschijnsel

$$v_1 = v_2 = v_3, \tag{9}$$

dwz. alle drie trappen bewegen in phase. Precies hetzelfde inschakelverschijnsel zou dus verkregen worden, wanneer we slechts één teruggekoppelde trap beschouwden.
Wat betreft de trillings-oplossing.

$$e^{jwt} \tag{10}$$

gegeven door (6) en (7), volgt uit (1), (2) en (3), dat de drie trappen wederom met dezelfde amplitude bewegen, doch met een phase-vertraging van $\frac{2}{3}\pi = 120°$ tusschen de opeenvolgende trappen. Voor deze trillingsvorm hebben wij derhalve

$$\left.\begin{aligned} v_2 &= e^{-j\frac{2}{3}\pi} v_1, \\ v_3 &= e^{-j\frac{2}{3}\pi} v_2, \\ v_1 &= e^{-j\frac{2}{3}\pi} v_3. \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Bovendien kan men het inschakelverschijnsel (8) langzamer doen verloopen door een weerstand ϱ in de gemeenschappelijke anodeleiding tusschen te voegen, zooals aangegeven in fig. 1a. Deze gemeenschappelijke weerstand beïnvloedt wel dit verschijnsel, doch heeft geen invloed op de oplossing (10).

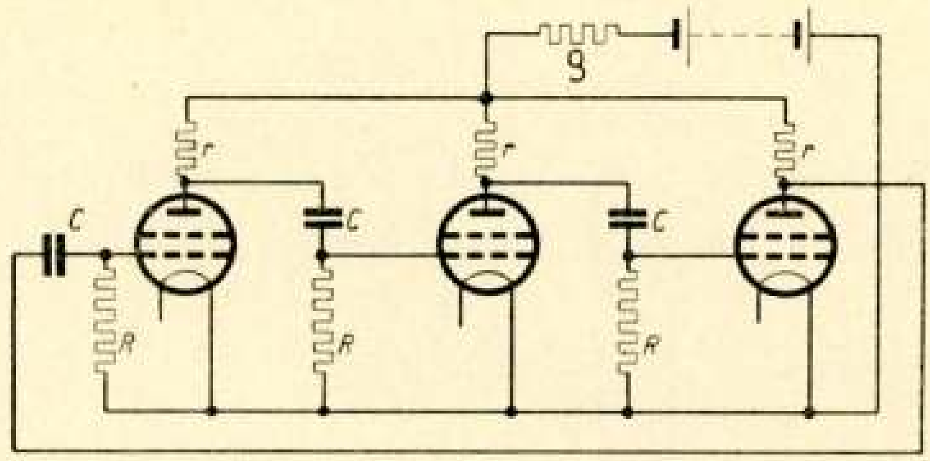


FIG 1a

§ 3. *Niet-lineaire theorie.*

Wij geven nu een niet-lineaire beschouwing van ons systeem. Wij nemen aan dat de anodestroom i_n de volgende niet-lineaire functie van de roosterspanning v_n is (waarbij slechts afwijkingen rondom een evenwichtstoestand beschouwd worden).

$$i_n = \alpha v_n - \gamma v_n^3, \tag{12}$$

zoodat α overeenkomt met S in de lineaire theorie. (1), (2) en (3) worden dus vervangen door

$$\left(\frac{d}{dt} + \frac{1}{CR}\right) v_{n+1} + r \frac{d}{dt}(\alpha v_n - \gamma v_n^3) = 0$$

$$n = 1, 2, 3. \qquad (v_4 = v_1)\text{ [1]}. \tag{13}$$

De algemeene oplossing van de drie vergelijkingen (13) leidt tot groote moeilijkheden, doch wanneer we *ab initio* een phaseverschil van $\frac{2}{3}\pi$ tusschen de opeenvolgende trappen aannemen,

[1]) Dit systeem van differentiaalvergelijkingen is door een eenvoudige transformatie terug te brengen tot:

$$\left.\begin{aligned}
&\left(\frac{d}{d\tau} + 1\right) y_2 + \varepsilon \frac{d}{d\tau}(y_1 - y_1^3) = 0 \\
&\left(\frac{d}{d\tau} + 1\right) y_3 + \varepsilon \frac{d}{d\tau}(y_2 - y_2^3) = 0 \\
&\left(\frac{d}{d\tau} + 1\right) y_1 + \varepsilon \frac{d}{d\tau}(y_3 - y_3^3) = 0
\end{aligned}\right\} \tag{13a}$$

verkrijgen we een benaderde oplossing van de drie vergelijkingen (13) door

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= a(t)\cos\omega t\,, \\ v_2 &= a(t)\cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right), \\ v_3 &= a(t)\cos\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right). \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

waarin $a(t)$ een langzaam variabele functie van de tijd t is, d.i.

$$\dot{a} \ll \omega a\,.$$

Een verder onderzoek toont aan dat de amplitude van de hoogere harmonischen verwaarloosd kan worden t.o.v. die van de grondfrequentie.

Door (14) in (13) te substitueeren en de hoogere harmonischen buiten beschouwing te laten, verkrijgen we

$$\omega = \frac{1}{CR\sqrt{3}} \qquad (7)$$

en

$$\frac{da}{dt} - \frac{2}{3}a\left(ar - 2 - \frac{3}{4}\gamma r a^2\right) = 0\,,$$

waarvan de oplossing is

$$a^2 = \frac{4}{3\gamma}\left(a - \frac{2}{r}\right)\frac{1}{1 + e^{-\frac{4}{3}(ar-2)(t-t_0)}}\,. \qquad (15)$$

Voor $t \to \infty$ leidt (15) dus tot de constante eindamplitude

$$a^2 = \frac{4a}{3\gamma}\left(1 - \frac{2}{ar}\right).$$

Indien we derhalve aannemen dat de phaseverschillen tusschen de opeenvolgende trappen $\frac{2}{3}\pi$ bedragen, gedraagt het systeem zich precies zoo als een sinusoidaal systeem met één graad van vrijheid.

§ 4. *Uitbreiding van de lineaire theorie over meer schakelelementen.*

In § 2 werden eenige veronderstellingen gemaakt in verband

met de grootte van sommige schakelelementen, terwijl andere geheel verwaarloosd werden. In deze paragraaf zal een lineaire theorie behandeld worden, welke meer van deze schakelelementen in rekening brengt en met minder beperkingen met betrekking tot hun grootte.

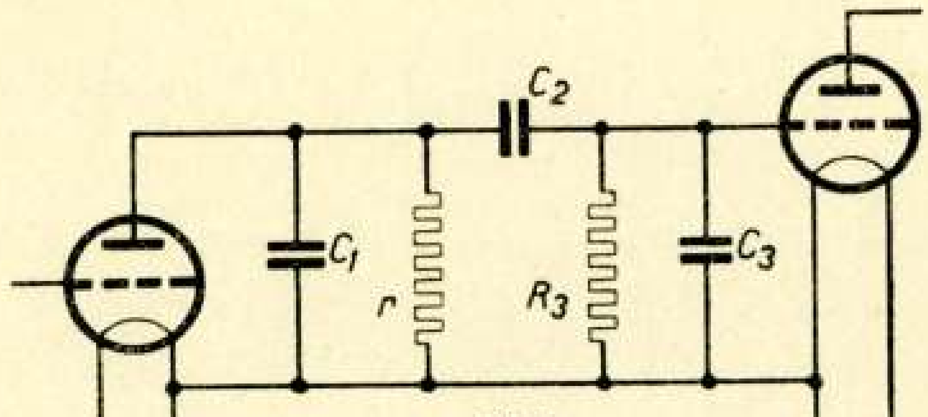


FIG. 2

Indien in fig. 2, waarin slechts één van de drie trappen is weergegeven, R_1 de inwendige anode differentiaal weerstand, C_1 de kathode-anode-, C_3 de kathode-rooster-capaciteit coëfficiënt en g de versterkingsfactor is, volgt hieruit gemakkelijk, met $D = j\omega$, dat (1), (2) en (3) uitgebreid worden tot :

$$\frac{v_{n+1}}{g\,v_n} =$$

$$= -\frac{R_3 r'}{R_1}\,\frac{1}{r'\left(1+\frac{C_1}{C_2}\right)+R_3\left(1+\frac{C_3}{C_2}\right)+j\left(\omega\frac{C_1C_2+C_1C_3+C_2C_3}{C_2}R_3 r-\frac{1}{\omega C_2}\right)}, \qquad (16)$$

waarin: $\frac{1}{R_1}+\frac{1}{r}=\frac{1}{r'}$.

Bepalen we de twee tijden T_1 en T_2 door

$$T_1 = \frac{r' R_3 (C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_1)}{r'(C_1+C_2)+R_3(C_2+C_3)}\,,$$

$$T_3 = r'(C_1+C_2)+R_3(C_2+C_3)\,, \qquad (17)$$

en noemen we verder

$$\frac{1}{r^*} = \left(\frac{C_1+C_2}{R_3}+\frac{C_2+C_3}{R_1}\right)\frac{1}{C_2}\,,$$

dan kan (16) als volgt geschreven worden

$$\frac{v_{n+1}}{v_n} = -S r^* \frac{1}{1+j\left(\omega T_1 - \frac{1}{\omega T_2}\right)} \tag{18}$$

of

$$\frac{v_{n+1}}{v_n} = -S r^* \frac{1}{1+jA}, \tag{19}$$

waarin

$$A = \omega T_1 - \frac{1}{\omega T_2}. \tag{20}$$

Zoodoende verkrijgen we voor drie gekoppelde trappen:

$$\left(\frac{-S r^*}{1+jA}\right)^3 = 1, \tag{21}$$

hetgeen leidt tot

$$S r^* = 2, \tag{6'}$$

$$A^2 = 3, \tag{7'}$$

welke de analogieën van (6) en (7) zijn.
(7') samen met (20) geven de volgende vergelijking, welke de frequenties bepaalt:

$$\omega^2 T_1^2 - 2\frac{T_1}{T_2} + \frac{1}{\omega^2 T_2^2} = 3. \tag{22}$$

Deze vergelijking heeft twee wortels ω_1^2 en ω_2^2, en uit deze meer uitgebreide theorie volgt derhalve, dat met dezelfde voorwaarde, waaraan de parameters moeten voldoen om het systeem in trilling te brengen, *twee* verschillende frequenties (6') kunnen optreden. Wanneer, zooals in de praktijk dikwijls het geval zal zijn,

$$T_2 >> T_1,$$

hebben de hoekfrequenties ω_1 en ω_2 zeer uiteenliggende waarden. Deze worden dan gegeven door

$$\omega_1 = \frac{\sqrt{3}}{T_1},$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2\sqrt{3}}.$$

Noemen we verder ω_0 de hoekfrequentie, voor welke het systeem, als een versterker beschouwd, $v_n = -v_{n+1}$ geeft, dan krijgen we

$$A = \omega_0 T_1 - \frac{1}{\omega_0 T_2} = 0$$

en dientengevolge volgt uit (21) dat

$$\omega_1 \omega_2 = \omega_0^2$$

of, in woorden, dat de twee mogelijke frequenties ω_1 en ω_2 als hun geometrisch gemiddelde ω_0 hebben.

De proef heeft aangetoond, dat òf ω_1 òf ω_2 in het systeem voorkomt. Zooals volgens een niet-lineaire theorie te verwachten was, treden ze niet gelijktijdig op, doch één van beide frequenties kan naar wensch worden onderdrukt door kleine asymmetrieën in het systeem in te voeren.

§ 5. *Experimenteele resultaten.*

Naast hetgeen over de experimenteele resultaten reeds in § 1 Inleiding werd gezegd kan het volgende opgemerkt worden.

De drie-traps schakeling was afgeregeld op een grondfrequentie van $n = 500\ sec^{-1}$. Een nauwkeurig experimenteel onderzoek werd ingesteld naar de procentueele grootte van de amplituden van de hoogere harmonischen. Met de volgende gegevens, b.v. bij gebruik van drie Philips B 405 lampen:

$$r = 2000\ \Omega$$

$$C = 3200\ \mu\mu F$$

$$R = 50000\ \Omega$$

en de terugkoppeling nauwkeurig ingesteld door middel van de gemeenschappelijke negatieve roosterspanning, werd gevonden, dat de amplituden van de tweede en derde harmonischen gelijk waren aan 2 % en 3 % resp. van de grondfrequentie (eerste harmonische), terwijl de trillings-amplitude van de anodestroomen

van de orde van de helft van de gemiddelde anodestroom was.

In fig. 3 geven wij als een ander voorbeeld verder een oscillogram, dat met een registreerende milliammeter genomen is. Dit „oscillogram" duurde van ongeveer 9 uur 's morgens tot 8 uur 's avonds. Een complete trilling duurde dus ongeveer 6,5 minuten.

Verder moge opgemerkt worden, dat zeer verwant aan de hierboven beschreven en onderzochte drie-traps kring is een schakeling als weergegeven in fig. 4; het formeele onderzoek van deze schakeling is iets gecompliceerder dan het in dit artikel beschreven systeem.

Eenige verdere experimenten met meer trappen toonden aan, dat het systeem voor elk even aantal trappen relaxatietrillingen geeft. Dit vindt zijn oorzaak in het feit, dat de kritische waarde van terugkoppeling in dit geval gegeven wordt door

$$Sr = 1 \text{ [1]},$$

zoodat b.v. in een systeem met 6 trappen relaxatietrillingen

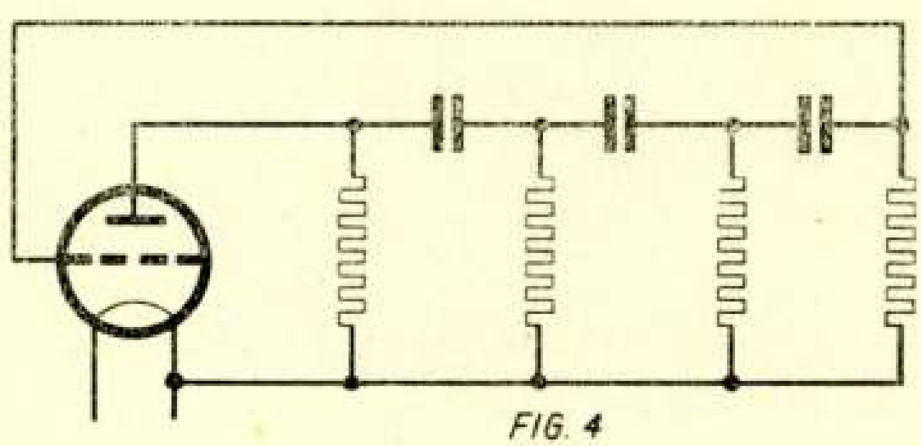


FIG. 4

ontstaan vóór sinusoidale trillingen kunnen optreden ($2 > Sr > 1$), òf voordat deze tijd hebben zich te ontwikkelen ($Sr > 2$).

Wanneer bovendien het aantal trappen n is, en n geen priemgetal is, dan zal het systeem op die wijze trillen, welke overeenkomt met de kleinste factor van n, daar dit de wijze is, bij welke de kritische terugkoppeling het eerst wordt bereikt. Derhalve zal deze trilling ontstaan vóór andere trillingen zich kunnen ontwikkelen en, tengevolge van de niet-lineariteit van het systeem, zullen de andere trillingsvormen worden onderdrukt door de aanwezigheid van die met de kortste opbouwtijd.

Deze verschijnselen schijnen een rol te spelen bij ongewenschte trillingen, welke soms optreden in een meervoudige weerstand-gekoppelde versterker.

---

[1] l.c. zie § 1.

In een volgend experiment was wederom een drietraps systeem gebouwd met ten naastebij dezelfde trillingstijd als het eerste. Het tweede systeem werkte op het eerste door een extra triode, zoodat geen reactie van het tweede op het eerste systeem bestond. Het eerste systeem trilde derhalve onder invloed van een uitwendige e.m.k. met een frequentie, ongeveer gelijk aan de eigen frequentie.

Het ontstaan van aanmerkelijk vervormde „zwevingen" wordt duidelijk aangetoond (fig. 5). Zooals bekend wordt deze vervorming veroorzaakt door de niet-lineariteit van het systeem. Een benaderde theorie van deze verschijnselen werd het eerst door één van ons gegeven[1]), waarbij werd aangetoond dat het verschijnsel bestond uit een gedeeltelijke of geheele onderdrukking van de vrije trilling tengevolge van de gedwongen trilling. Het is duidelijk dat zulk een toestand slechts in een niet-lineair systeem mogelijk is. Later werd een mathematisch strengere behandeling gegeven door Kryloff en Bogoliùboff[2]) en door Mandelstam en Papalexi[3]).

Tenslotte danken wij den Heer G. Hepp voor zijn bekwame hulp bij het voorbereiden en uitvoeren der proeven.

---

[1]) Balth. van der Pol, Tijdschr. v. h. Ned. Rad. Gen. **2**, 57, 1924, ook Phil. Mag., **3**, 65, 1927.

[2]) Comptes Rendus de l'Académie des Sc. de Paris **194**, 957, 1064, 1119 (1932).

Zie ook: Revue générale des Sciences, 15 Jan. 1933, blz. 9.

[3]) Zts. f. Phys. **73**, 223 1931.

Eindhoven, 20 Februari 1934.

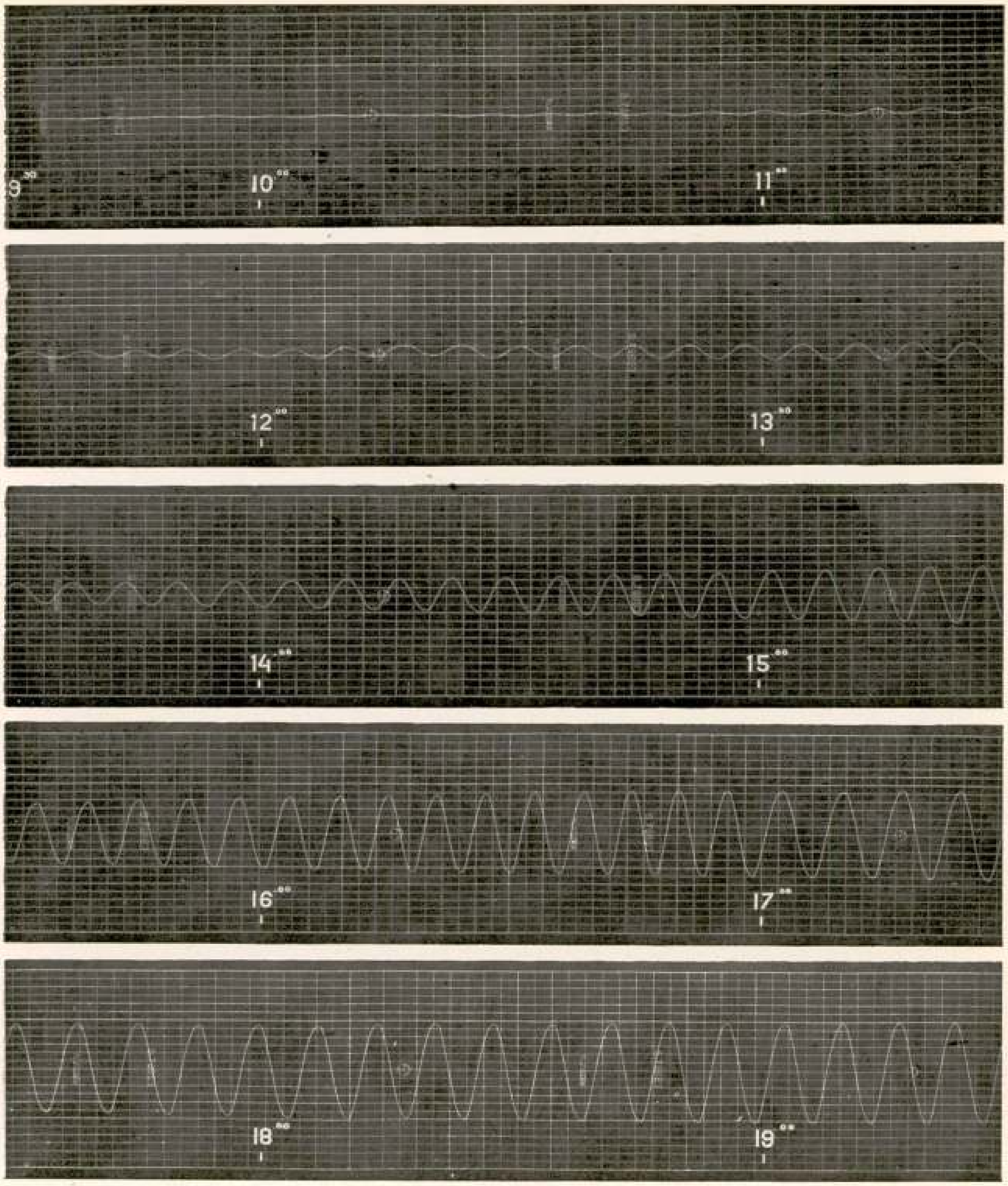


Fig. 3.

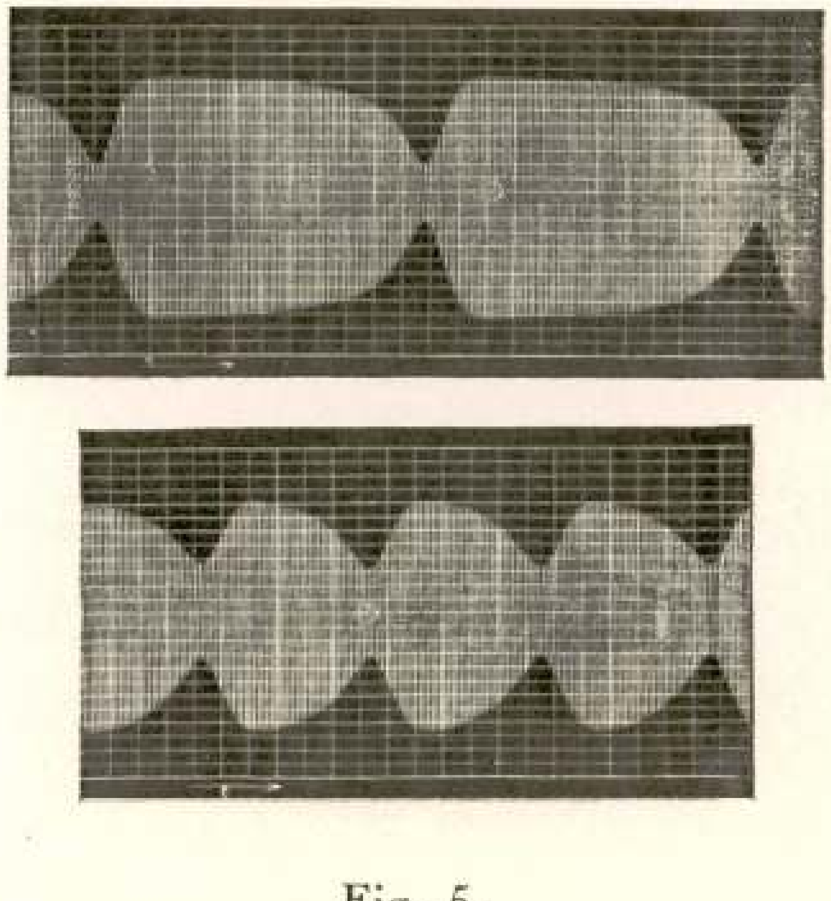


Fig. 5.

BOEKBESPREKING

„Grondslagen van de Radio Ontvangtechniek", door Ir. J. J. Vormer en Ir. H. C. A. van Duuren. Deventer, N. V. Uitgevers-Maatschappij Æ. Kluwer.

Dit, van een voorrede van Prof. Dr. Ir. N. Koomans voorziene werkje, vormt, volgens de schrijvers een handleiding ten dienste van hooger en middelbaar technisch ontwikkelden. De wiskundige uiteenzettingen passen zich dan ook aan laatstgenoemde categorie van lezers volkomen aan. Behalve de theorie der hoogvacuum lampen wordt die van versterkers enz. op duidelijke wijze behandeld. Een uitgebreid deel wordt ingenomen door de stralingstheorie.

W.

„Handbook of technical Instructions for Wireless Telegraphists". H. M. Dowsett 5e Edit. Iliffe & Sons Lim. London.

Wij kunnen volstaan met hetgeen wij bij de vorige uitgave, omtrent dit werk gezegd hebben.

In deze uitgave is het gedeelte hetwelk de scheepszenders en ontvangers behandelt met nieuwe gegevens uitgebreid, terwijl drie nieuwe hoofdstukken, n.l. Constant Frequency oscillators, Echo Sounding Apparatus en short wave Marine Transmitters zijn toegevoegd.

Het praktische gedeelte bevat bijna uitsluitend beschrijvingen van Marconi-toestellen.

W.

„Radio-Ontvangst in Theorie en Praktijk", door R. Swierstra. 6e druk 1e en 2e deel. N. V. Drukkerij Jacob van Campen, Amsterdam.

De zesde druk van dit geheel elementair gehouden boek is geheel omgewerkt en sterk uitgebreid. De eenvoudige doch ge-

heel juiste behandeling van de theorie van de Radio-ontvangst in 't algemeen en van de lampen in 't bijzonder, geven dit werk een bijzondere waarde voor die lezers waarvoor het bestemd is.

Wat het praktische gedeelte betreft, worden uitsluitend beschrijvingen gegeven van Philips' lampen en ontvangtoestellen, een feit waarmede bij de beoordeeling van dit boek dient rekening gehouden te worden.

W.

NIEUWERE ONTWIKKELING OP HET GEBIED VAN RADIO-ONTVANGLAMPEN [1])

door

B. D. H. TELLEGEN

Natuurkundig Laboratorium der N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland)

Summary.

A survey is given of the development of radio receiving tubes within the last few years. Discussed are: penthodes for high-frequency amplification, variable-μ valves, hexodes, pentagrids, binodes, class-B valves.

De verschillende functies van de radio-ontvanglampen zijn:

- hoogfrequentlampen
- idem regelbaar
- detectorlampen { plaatdetectie, roosterdetectie, diodetectie
- laagfrequentlampen
- eindlampen.

Voor superheterodynetoestellen bovendien nog:

- modulatorlampen
- idem regelbaar
- oscillatorlampen
- modulator-oscillatorlampen
- idem regelbaar

Wij willen deze achtereenvolgens aan een onderzoek onderwerpen.

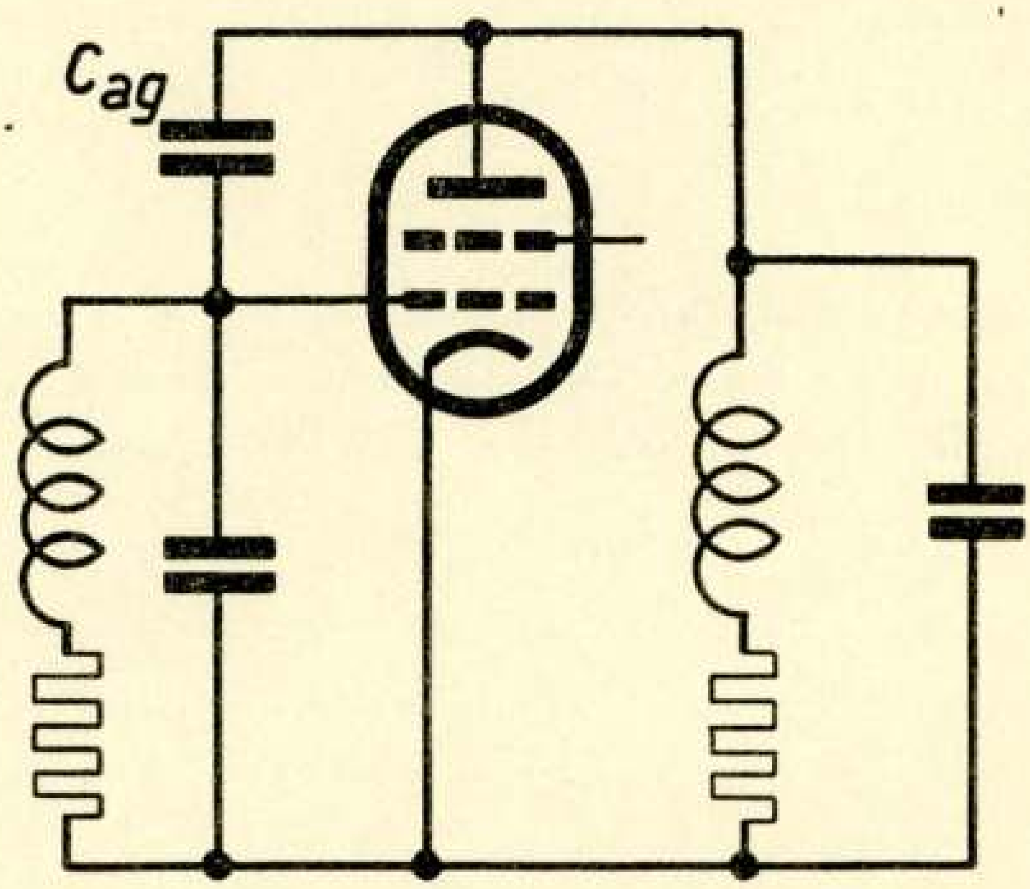
---

[1]) Voordracht, gehouden voor het Nederlandsch Radiogenootschap op 14 April 1934.

Hoogfrequentlampen.

Voor hoogfrequentversterking worden algemeen schermroosterlampen gebruikt. Dit geschiedt in de eerste plaats, omdat hiermede kleine rooster-anodecapaciteiten te bereiken zijn. Door de rooster-anodecapaciteit, de C_{ag}, is nl. een terugwerking van de spanningen in de anodeketen op de roosterketen mogelijk. Zijn in anode- en roosterketen kringen opgenomen, welke op dezelfde frequentie zijn afgestemd (Fig. 1), dan kan genereeren hiervan het gevolg zijn. De genereervoorwaarde is:

$$\omega\, C_{ag}\, S \left(\frac{L}{Cr}\right)_g \cdot \left(\frac{L}{Cr}\right)_a = 2$$

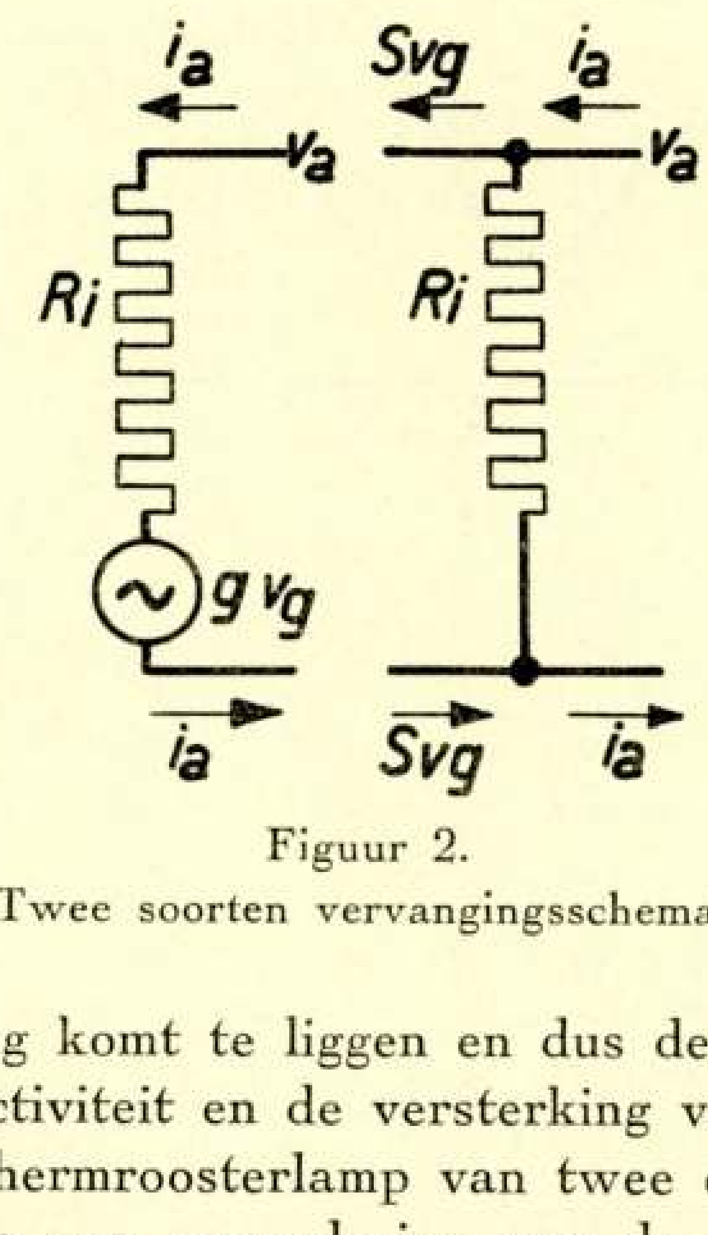


Figuur 1.
Twee kringen, gekoppeld door een lamp met roosteranode-capaciteit.

Hierin is $\left(\frac{L}{Cr}\right)_g$ resp. $\left(\frac{L}{Cr}\right)_a$ de impedantie in de roosterketen resp. in de anodeketen van de daarin opgenomen kring voor de frequentie, waarop deze is afgestemd, ω die frequentie en S de steilheid. De inwendige weerstand R_i van de lamp is hierbij gedacht parallel aan de anodeketen te liggen en de impedantie hiervan overeenkomstig iets te verkleinen. Met $\omega = 10^7$ (wat overeenkomt met een golflengte van ongeveer 200 m), $S = 2\ mA/V$, $\left(\frac{L}{Cr}\right)_g = \left(\frac{L}{Cr}\right)_a = 300000\ \Omega$ wordt uit bovenstaande voorwaarde voor C_{ag} een waarde van ongeveer $0{,}001\ \mu\mu F$ gevonden.

Behalve een kleine C_{ag} is het voor het bereiken van een hooge versterking en een goede selectiviteit van belang een groote R_i te hebben. Dit is het eenvoudigst in te zien door aan een bepaald vervangingsschema van de lamp te denken. Gewoonlijk wordt de lamp vervangen door een spanningsbron $g v_g$ met R_i in serie, waarin g de versterkingsfactor van de lamp is en v_g de roosterwisselspanning. Men kan de lamp echter ook vervangen door een stoombron $S v_g$ met R_i hieraan parallel (Fig. 2), welk vervangingsschema met het eerste volkomen gelijkwaardig en in vele gevallen voor de toepassing bruikbaarder is.

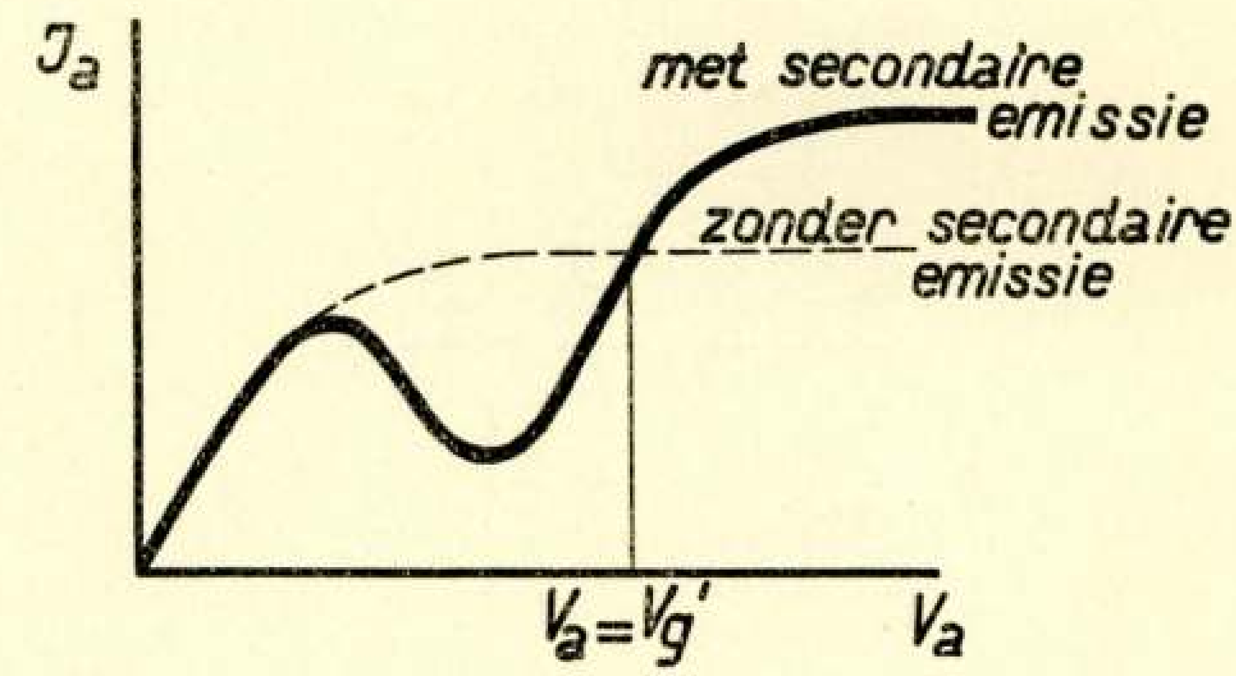
Uit het tweede vervangingsschema zien wij, dat de R_i parallel



Figuur 2.
Twee soorten vervangingsschema's

aan de anodekring komt te liggen en dus deze kring dempt en daardoor de selectiviteit en de versterking verkleint. Nu hangt de R_i van een schermroosterlamp van twee oorzaken af. In de eerste plaats kan een verandering van de anodespanning een invloed hebben op de stroom, welke de kathode verlaat en in de tweede plaats kan de verdeeling van deze stroom over schermrooster en anode hierdoor veranderen. Bij de gebruikelijke hoogfrequentlampen overweegt de tweede invloed verre over de eerste. De invloed, welke de anodespanning uitoefent op de stroomverdeeling, is voornamelijk het gevolg van de secondaire emissie. Tengevolge hiervan krijgt de I_a-V_a karakteristiek de vorm als aangegeven in fig. 3, waarin gestippeld is geteekend wat wij zouden krijgen zonder secondaire emissie. Is V_a hooger dan de schermroosterspanning V'_g, dan gaan er secondaire electronen van het schermrooster naar de anode; is V_a lager dan

V'_g, dan gaan er secondaire electronen van de anode naar het schermrooster; wordt V_a zeer laag, dan houdt het vermogen om secondaire electronen af te geven op. Nu blijkt de secondaire emissie van het schermrooster naar de anode moeilijk te verzadigen te zijn, waardoor de R_i niet boven een bepaalde waarde kan uitkomen. Hoe hooger V_a is, des te beter zal de secondaire emissie verzadigd zijn en des te hoogere R_i mag verwacht worden, wat ook wordt gevonden [1]).



Figuur 3.

I_a-V_a karakteristiek van een schermroostertetrode.

Om de invloed van de secondaire emissie te ontgaan kan tusschen het schermrooster en de anode een derde rooster worden aangebracht, dat op een lage potentiaal gebracht wordt, b.v. met de kathode wordt verbonden, waardoor een penthode ontstaat. De invloed van de secondaire emissie is hierdoor verdwenen. Er kan echter een ander effect voor in de plaats treden, dat eveneens tracht de R_i te verkleinen. Wordt nl. de spoed van het derde rooster te klein genomen, dan zal een deel van de primaire electronen, die het schermrooster gepasseerd zijn, vóór het derde rooster omkeeren en naar het schermrooster terugkeeren. Het percentage van de electronen, dat zich zoo gedraagt. zal afhangen van de anodespanning, wat zich uit in een verkleining van de R_i. Wordt de spoed van het derde rooster te groot genomen, dan zullen er weer secondaire electronen doorgaan en wordt daardoor de R_i verlaagd. Wij zullen hier dus tusschendoor moeten zeilen. Als illustratie zij vermeld, dat de hoogfrequenttetrode, de *E 452 T*, bij $V_a = 200\ V$, $V'_g =$

[1]) Voor verdere bijzonderheden zij verwezen naar C. J. de Lussanet de la Sablonière, Zts. f. Hochfreq. Tech., **41**, 195—205, 1933.

$= 100\ V$ en $I_a = 3\ mA$ een R_i heeft van 0,3 Meghom, terwijl de hoogfrequentpenthode, de *E 446*, onder dezelfde omstandigheden een R_i heeft van 2 Megohm, zoodat dus inderdaad een groote verbetering is bereikt.

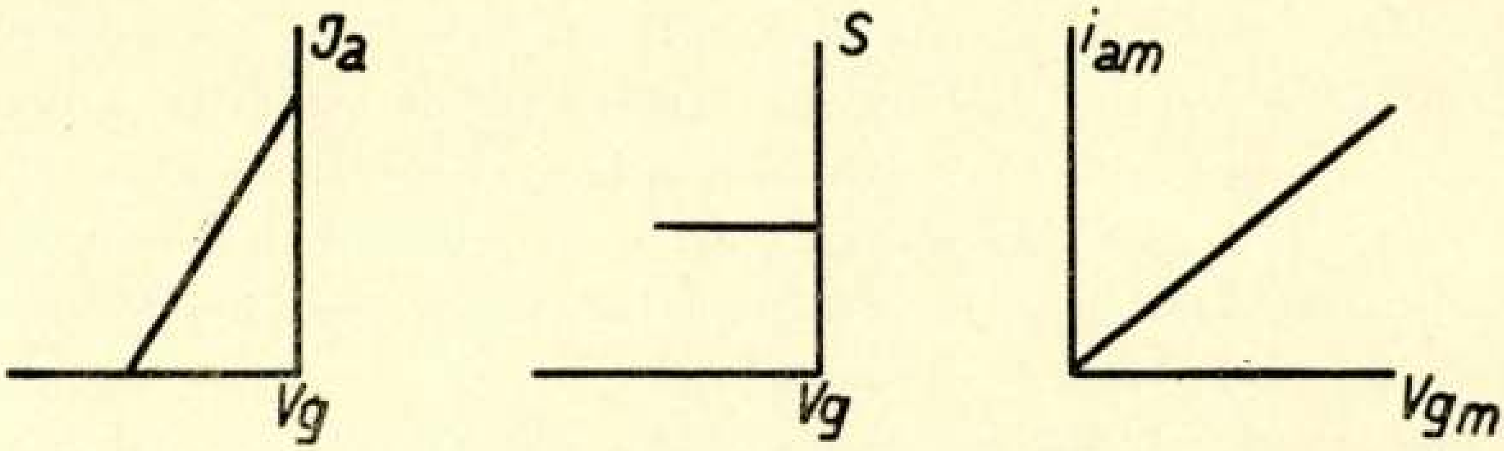
Verdere voordeelen van de penthode boven de tetrode zijn: een beter constante schermroosterstroom, doordat de onregelmatige secondaire emissie is vermeden, en de mogelijkheid om de lamp bij lagere anodespanningen te gebruiken zonder dat de R_i al te klein wordt, wat van belang is voor gelijkstroomapparaten voor 110 Volts-netten.

Om groote steilheden te bereiken zijn kleine afstanden van stuurrooster tot kathode noodig. Daarbij moet er echter tegelijkertijd voor gezorgd worden de onderlinge afstand van de roosterdraden klein genoeg te houden. Wordt deze nl. te groot, dan zullen bij het meer negatief maken van de stuurroosterspanning die deelen van de kathode, welke onder de roosterdraden liggen, het eerst ophouden te emitteeren, terwijl meer negatieve roosterspanning noodig zal zijn om de stroom van die deelen van de kathode, welke onder de openingen van het rooster zijn gelegen, te doen ophouden, welk verschijnsel met de naam „Inselbildung" wordt aangeduid. De I_a-V_g karakteristiek krijgt hierdoor een „staart" en de steilheid wordt er door verkleind. Om de afstand van de roosterdraden klein te kunnen maken zonder de roosterruimte te verminderen, is het noodig dunne roosterdraden te gebruiken. Bij de *E 446* is zoodoende door gebruik te maken van draden van $60\ \mu$ een steilheid verkregen van $2{,}5\ mA/V$ tegen $1{,}8\ mA/V$ bij de *E 452 T*, alles gemeten bij de bovenaangegeven condities.

Regelbare hoogfrequentlampen.

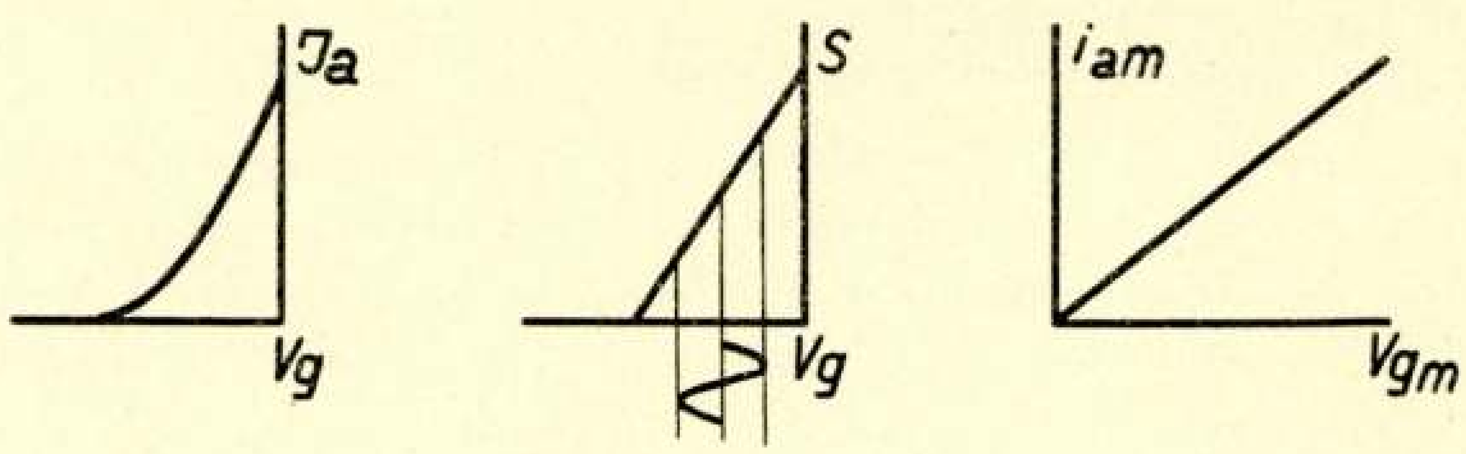
Het regelen van de versterking in radio-apparaten geschiedt meestal door het veranderen van de negatieve roosterspanning van de hoogfrequentlampen. Bij toename hiervan neemt de steilheid af en daardoor de versterking. Wij komen hierdoor in sterk gekromde deelen van de I_a-V_g karakteristiek te werken, wat verschillende nadeelige gevolgen heeft. Staat op het stuurrooster eenige laagfrequentspanning, b.v. bromspanning, dan wordt het hoogfrequentsignaal hiermee gemoduleerd (modulatiebrom). Een tweede groep van verschijnselen is de vervorming, de modulatie-verdieping en de kruismodulatie. Veronderstellen wij eerst, dat de I_a-V_g karakteristiek recht is. De steilheid is dan constant en wanneer wij op het rooster een sinusvormige

wisselspanning van amplitude v_{gm} aanbrengen, dan verloopt de anodestroom ook sinusvormig met een amplitude $i_{am} = S\,v_{gm}$. Wij krijgen dus het beeld als weergegeven in fig. 4.



Figuur 4.
Hoogfrequentlamp met rechte karakteristiek.

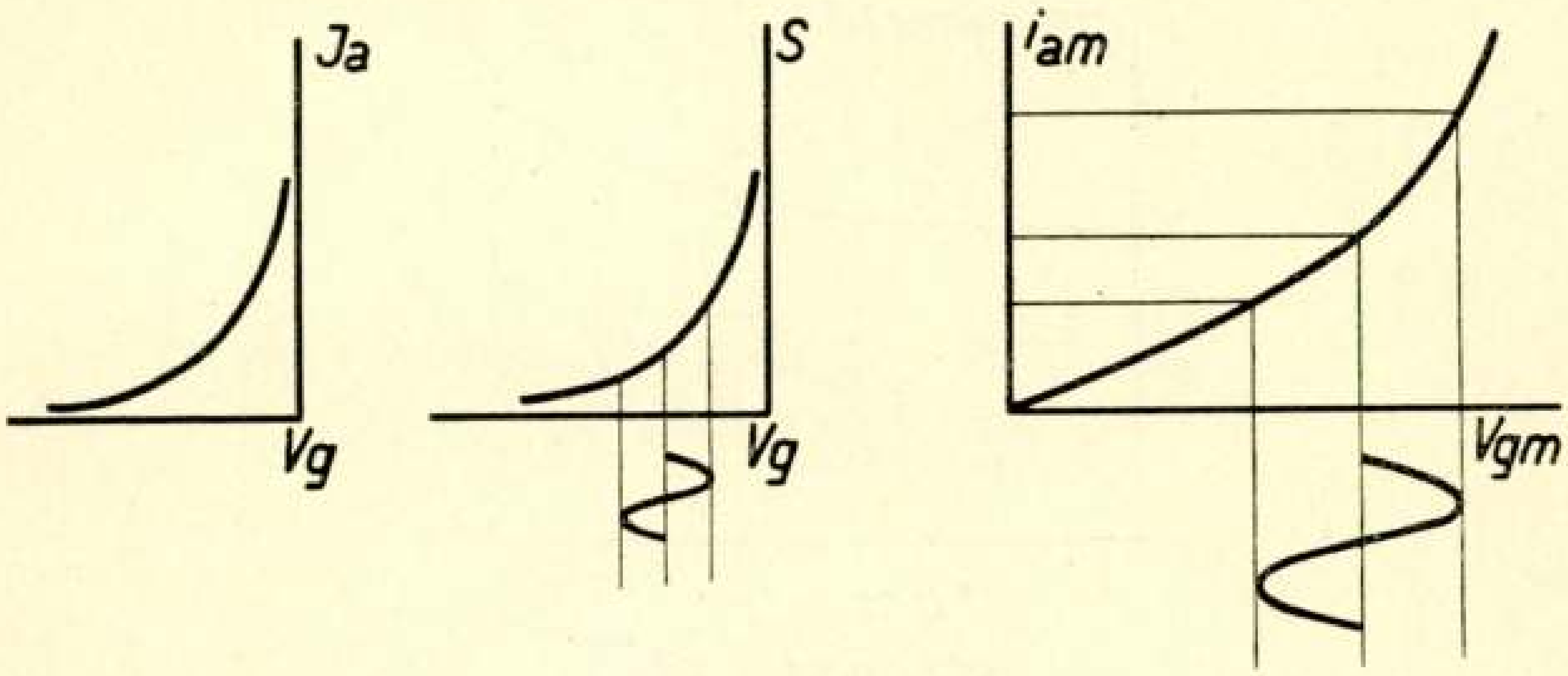
Is de I_a-V_g karakteristiek kwadratisch, dan is de S-V_g karakteristiek recht. Wordt nu een sinusvormige wisselspanning op het rooster gezet, dan zal de anodestroom niet meer sinusvormig verloopen, doch nog een componente met de dubbele frequentie bevatten. Deze interesseert ons echter niet, daar in de anodeketen gewoonlijk een kring is opgenomen, welke op de grondfrequentie is afgestemd. Noemen wij de amplitude van de grondcomponente van de anodewisselstroom i_{am}, dan zal deze bij toename van v_{gm} evenredig daarmee toenemen: uit de steilheidskarakteristiek zien wij nl., dat wel de momenteele waarde van de steilheid gedurende een periode verandert, maar dat de gemiddelde waarde onafhankelijk is van de grootte van de roosterwisselspanning. Wij krijgen dus het beeld als weergegeven in fig. 5.



Figuur 5.
Hoogfrequentlamp met kwadratische karakteristiek.

Is de I_a-V_g karakteristiek meer dan kwadratisch gekromd, dan zal ook de S-V_g karakteristiek gekromd zijn. Voor kleine roosterwisselspanningen zal de grondcomponente van de anodewisselstroom evenredig hiermee toenemen, voor groote rooster-

wisselspanningen echter sneller, doordat de gemiddelde steilheid door het aanbrengen van een groot signaal toeneemt. Wordt nu het signaal gemoduleerd, dan heeft dit tot gevolg, dat de modulatie dieper en vervormd op de anodestroom wordt overgebracht. Wij krijgen een soortgelijke vervorming als bij laagfrequentversterking met een lamp met een gekromde karakteristiek. Wij krijgen dus het beeld als weergegeven in Fig. 6.



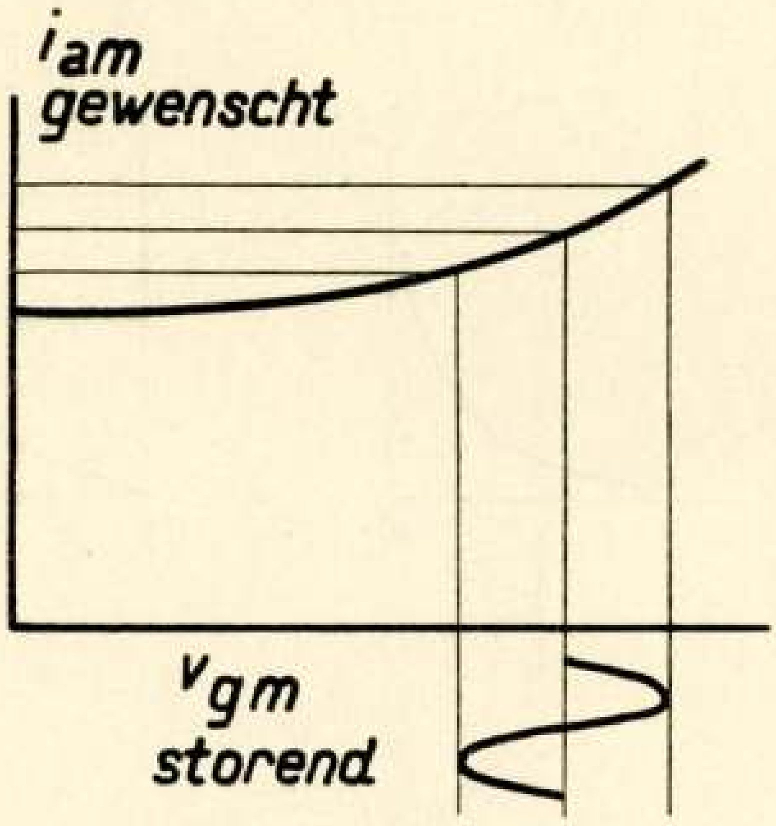
Figuur 6.
Hoogfrequentlamp met sterker dan kwadratisch gekromde karakteristiek.

Een ander verschijnsel krijgen wij, wanneer op het rooster van de lamp, behalve het gewenschte signaal, nog een storend signaal werkt. Is het storende signaal niet aanwezig, dan zal door de lamp een bepaalde wisselstroom loopen. Wordt een klein storend signaal aangebracht, dan zal de sterkte van de componente van de anodewisselstroom van de frequentie van het gewenschte signaal hierdoor niet veranderen. Wordt een groot storend signaal aangebracht, dan zagen wij boven, dat de gemiddelde steilheid van een lamp met meer dan kwadratisch gekromde I_a-V_g karakteristiek hierdoor toeneemt, waardoor ook de componente van de anodewisselstroom van de frequentie van het gewenschte signaal in sterkte toeneemt. Wij krijgen dus een verband als aangegeven in fig. 7. Wordt het storende signaal gemoduleerd, dan zal ook het gewenschte signaal gemoduleerd worden met de modulatie van het storende signaal, wat met de naam van kruismodulatie wordt aangeduid. Is dit eenmaal het geval, dan is het door selectiviteit na deze lamp niet meer mogelijk het gewenschte en het storende signaal te scheiden.

De beschreven effecten zijn mathematisch te onderzoeken door de I_a-V_g karakteristiek in de omgeving van het werkpunt in een Taylorreeks te ontwikkelen:

$$i_a = \alpha v_g + \beta v^2_g + \gamma v^3_g + \ldots.$$

en hierin voor v_g uitdrukkingen voor de roosterwisselspanningen te substitueeren. Het blijkt dan, dat de modulatiebrom bepaald wordt door β/α en de vervorming, de modulatieverdieping en de kruismodulatie door γ/α.



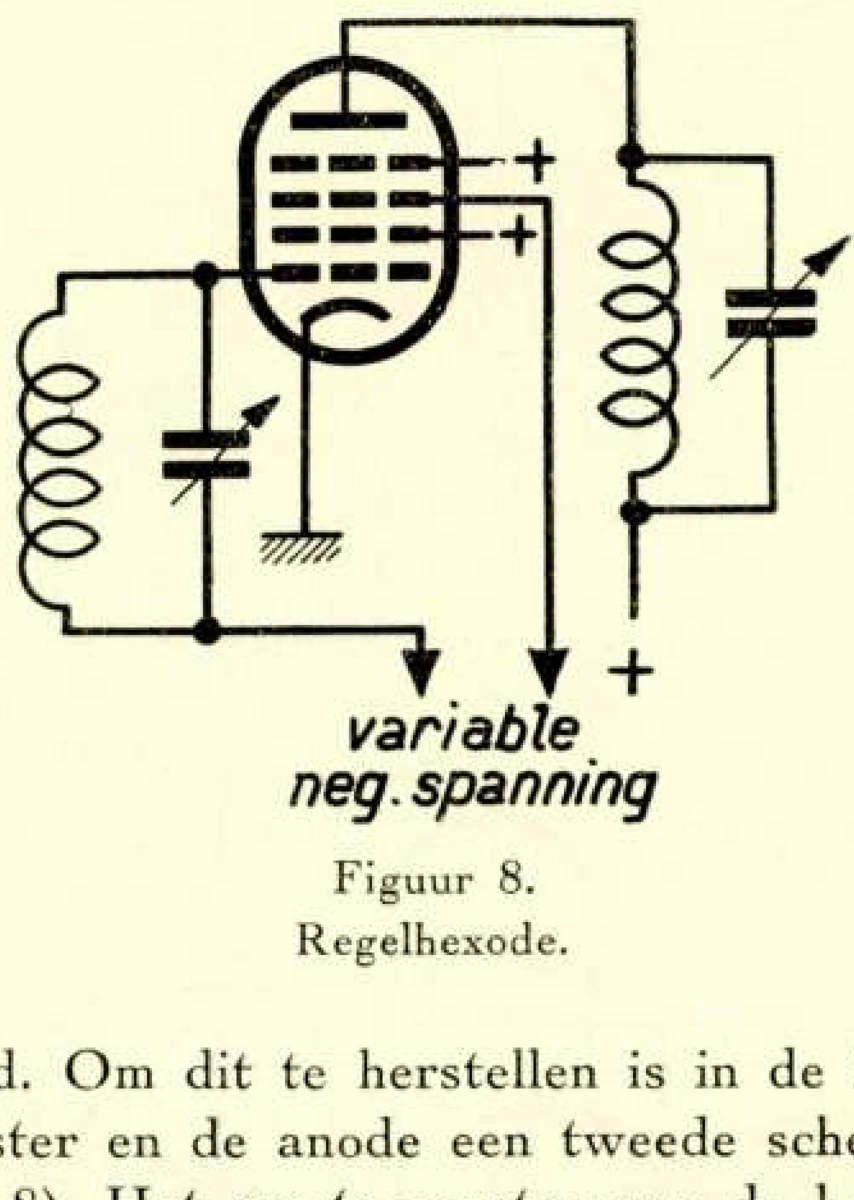
Figuur 7.
Kruismodulatie.

Om de genoemde effecten te verminderen worden lampen gebruikt, waarbij de anodestroom bij het verhoogen van de negatieve roosterspanning niet plotseling tot nul afneemt, maar een „staart" vertoont, waardoor de krommingen worden verminderd. Dit wordt bereikt door lampen te maken met een variabele spoed van het stuurrooster of door enkele windingen uit het stuurrooster te knippen. Deze lampen dragen de naam van selectoden (omdat zij door het verminderen van kruismodulatie de selectiviteit verhoogen), exponentiaallampen (omdat de I_a-V_g karakteristiek een bij benadering exponentieel verloop heeft) of variabele-μ lampen (μ is het Amerikaansche symbool voor versterkingsfactor, de variabele μ is niet de versterkingsfactor van het stuurrooster t.o.v. de anode, maar van het stuurrooster t.o.v. het schermrooster). Bij deze lampen is een grootere toename van de negatieve roosterspanning noodig om de steilheid een bepaalde factor te verkleinen, terwijl bij dezelfde maximale anodestroom de steilheid kleiner is dan bij gewone hoogfrequentlampen. Deze bezwaren moeten echter op de koop toe genomen worden.

Een maatstaf voor de modulatiebron wordt gevonden door

een sinusvormige spanning op het stuurrooster aan te brengen en te meten, welk percentage tweede harmonischen in de anodestroom van de lamp ontstaat, een maatstaf voor de vervorming en de kruismodulatie wordt gevonden door het percentage derde harmonischen te meten. Op deze wijze worden, met 500 perioden, in het Philips' Laboratorium de lampen onderzocht [1]).

Een ander type regelbare lamp is de *regelhexode*. Wordt op het derde rooster van een h.f.penthode een voldoend groote negatieve spanning gezet, dan zal een belangrijk deel van de electronen vóór het derde rooster omkeeren en dus de anode niet bereiken, waardoor de steilheid afneemt. Bij de bespreking van de h.f.penthode zagen wij echter, dat in dit geval de R_i sterk



Figuur 8.
Regelhexode.

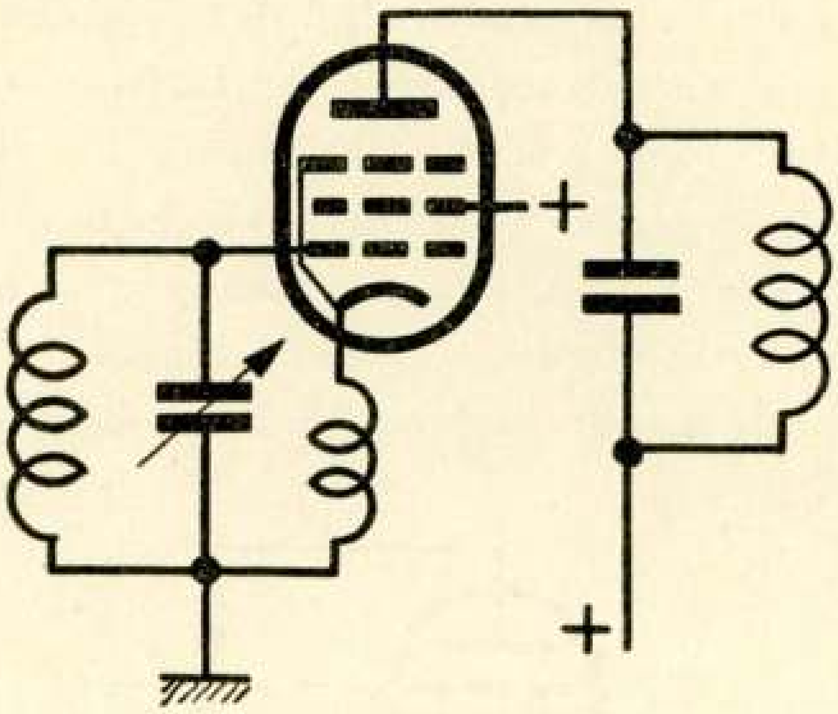
zal zijn gedaald. Om dit te herstellen is in de hexode tusschen het derde rooster en de anode een tweede schermrooster aangebracht (Fig. 8). Het eerste rooster van de hexode heeft een variabele-μ karakter. Door op het eerste en het derde rooster samen te regelen wordt de steilheid op twee wijzen beïnvloed en wordt bereikt, dat met een kleine regelspanning een groote regeling wordt verkregen. Doordat tusschen het tweede schermrooster en de anode secondaire emissie optreedt, zijn ook de bezwaren daarvan weer aanwezig.

Modulator en modulator-oscillatorlampen.

Wordt als oscillator een afzonderlijke lamp gebruikt, dan is

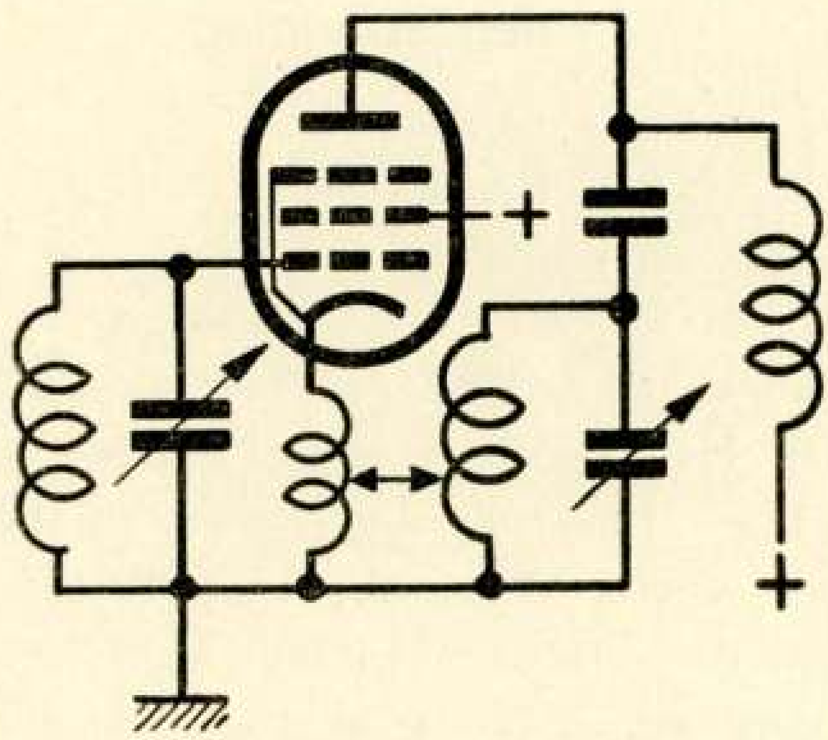
[1]) Zie A. J. Heins van der Ven, Radio Nieuws **17**, 29, 1934.

dit doorgaans een triode met een betrekkelijk lage versterkingsfoctor van 10 tot 25. Wordt als modulator een h.f.tetrode of h.f. penthode gebruikt, dan wordt de oscillator-spanning gewoonlijk in een spoeltje in de kathodeleiding geïnduceerd (Fig. 9). De



Figuur 9.
H.F.penthode als modulator.

signaalspanning wordt op het stuurrooster gezet. Door de krommingen van de lampkarakteristieken wordt o.a. de verschilfrequentie gevormd en in de anodeketen wordt een kring opgenomen, welke op deze verschilfrequentie, welke als middel-



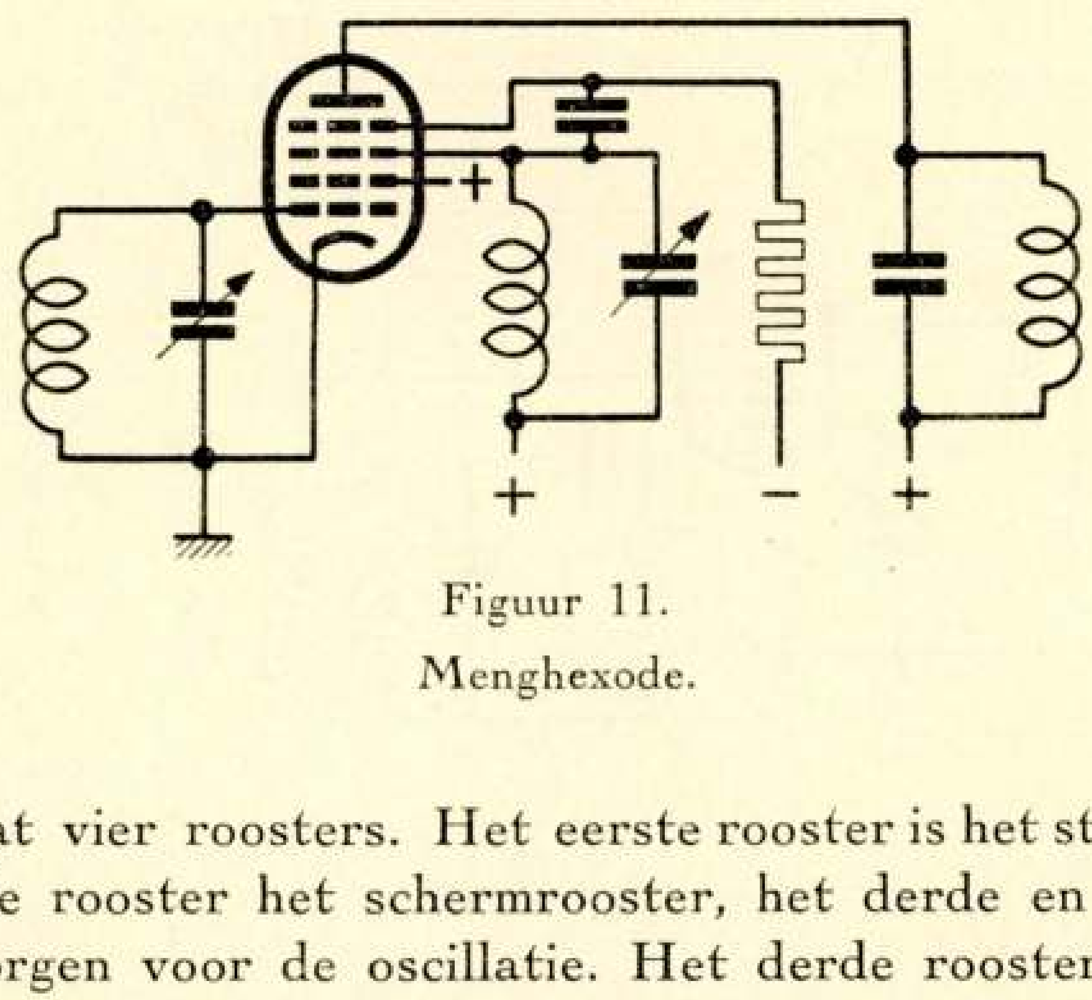
Figuur 10.
Principieel schema voor h.f.penthode
als modulator-oscillator.

frequentie gebruikt wordt, is afgestemd. De verhouding van de componente van de anodestroom van de middelfrequentie bij kortgesloten anodeketen tot de h.f.signaalspanning op het stuurrooster

draagt de naam van conversiesteilheid, welke in dit geval in de plaats komt van de gewone steilheid. In plaats van versterking kan op overeenkomstige wijze van conversieversterking worden gesproken. Wordt als h.f.lamp een regelbare lamp gebruikt, dan kan de conversieversterking op de normale wijze geregeld worden door verandering van de negatieve roosterspanning.

Om met één lamp als modulator-oscillator te kunnen volstaan is getracht beide functies in één h.f.tetrode of h.f.penthode te vereenigen. Het principieele schema hiervan wordt gegeven door fig. 10. Bij de uitvoering doen zich nog allerlei moeilijkheden voor en worden vele voorzorgen vereischt om een bruikbare werking te verkrijgen.

Om deze te ontgaan is de *menghexode* (Fig. 11) ontstaan.

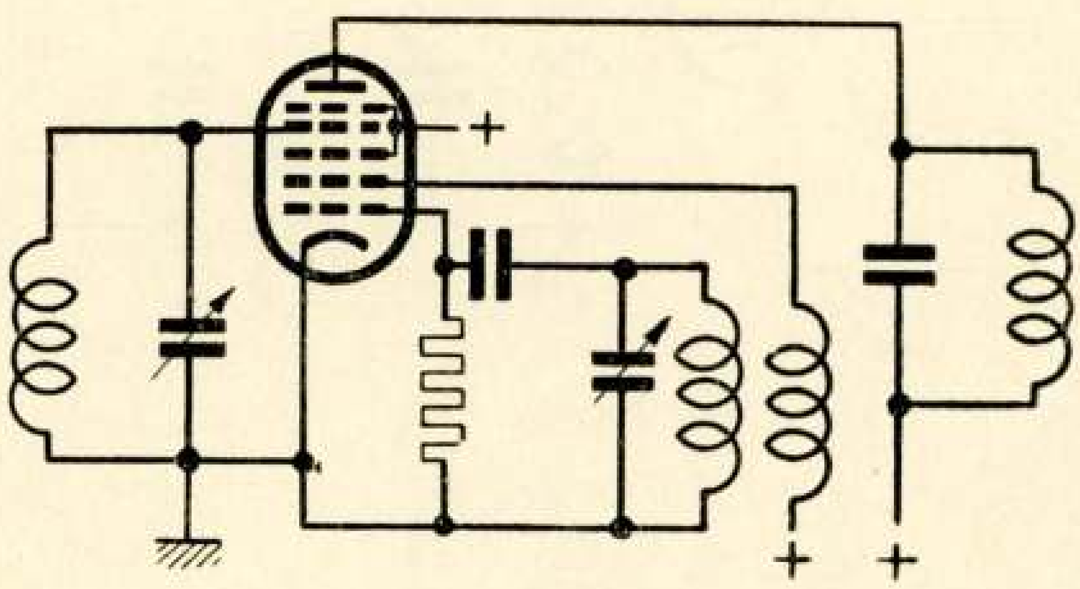


Figuur 11.
Menghexode.

Deze bevat vier roosters. Het eerste rooster is het stuurrooster, het tweede rooster het schermrooster, het derde en het vierde rooster zorgen voor de oscillatie. Het derde rooster krijgt een positieve spanning, het vierde een negatieve spanning. Een belangrijk deel van de electronen zal voor het vierde rooster omkeeren en door het derde rooster worden opgenomen. Wordt de spanning op het vierde rooster minder negatief gemaakt, dan zullen minder electronen terugkeeren, waardoor de stroom naar het derde rooster afneemt. Door nu het derde en het vierde rooster hoogfrequent via een capaciteit met elkaar te verbinden, ontstaat zoodoende een negatieve weerstand, waardoor de tusschen deze roosters en de kathode geschakelde oscillatorkring in trilling wordt gebracht. Doordat een belangrijk deel van de electronen voor het laatste rooster omkeert, is de inwendige weerstand van de menghexode vrij klein, terwijl hij niet geschikt is voor volumeregeling, daar bij vergrooting van

de negatieve spanning op het eerste rooster op een gegeven oogenblik de oscillator ophoudt te trillen. Om aan deze bezwaren tegemoet te komen en toch met één lamp te kunnen volstaan zijn verschillende oplossingen mogelijk.

Bij de eerste oplossing wordt een regelbare h.f.lamp met een kleine triode als oscillator in één lamp op een gemeenschappelijke kathode samengebouwd. De oscillatorspanning wordt op de normale wijze in een spoeltje in de kathodeleiding geïnduceerd. Aan deze schakeling zijn verschillende bezwaren verbonden (welke ook gelden, wanneer een aparte oscillatorlamp gebruikt wordt). Doordat tusschen stuurrooster en kathode zoowel de signaalspanning als de oscillatorspanning werken, moet de laatste nauwkeurig ingesteld worden en voor alle frequenties even groot blijven: bij een te kleine oscillatorspanning wordt de conversiesteilheid te klein, bij een te groote oscillatorspanning gaan roosterstroomen vloeien, die de hoogfrequentkring in de stuurrooster-



Figuur 12.
Pentagrid of heptode.

keten dempen. Door de h.f.stroom van de signaalfrequentie, welke door het spoeltje in de kathodeleiding vloeit, komt er ook h.f.spanning op de kathode te staan, welke via de kathodestuurroostercapaciteit op de roosterkring terugwerkt, wat zich uit in een demping.

Een tweede oplossing is de *pentagrid* of *heptode* (Fig. 12). Hierbij vormen de kathode met rooster 1 en rooster 2 een oscillator-triode, rooster 3 is een schermrooster, rooster 4, rooster 5 en de anode vormen samen een hoogfrequent-tetrode. De oscillatorspanning komt op het eerste rooster, de signaalspanning op het vierde rooster te staan. Verandering van de spanning op het vierde rooster beïnvloedt de verdeeling van de stroom tusschen vijfde rooster en anode eenerzijds en tweede

en derde rooster anderzijds. Wordt de spanning van het vierde rooster meer negatief gemaakt, dan keeren meer electronen voor het vierde rooster om. De kathodestroom wordt echter maar weinig hierdoor beïnvloed en dus blijft de lamp steeds oscilleeren en kunnen wij volumeregelen met de voorspanning van het vierde rooster.

Detectorlampen.

Ook voor detectie zijn schermroosterlampen van belang wegens de kleine C_{ag}. Al is ook de anode voor het vermijden van h.f.-spanningen in de anodeketen over een capaciteit C met de kathode verbonden, dan blijft hierop toch eenige h.f.spanning staan, nl. de roosterwisselspanning maal $S/j\omega C$, welke via de C_{ag} op de roosterketen terugwerkt en hierdoor een dempingsweerstand $C/S \cdot C_{ag}$ parallel aan de roosterkring doet ontstaan. Met $C = 500\ \mu\mu F$, $C_{ag} = 5\ \mu\mu F$ en $S = 2\ mA/V$ bedraagt deze weerstand $50000\ \Omega$. Behalve de kleine C_{ag} hebben de schermroosterlampen voor plaatdetectie nog het voordeel, dat de roosterruimte voldoende groot is om zonder roosterstroom te kunnen werken. Gaat aan de detector een aperiodische hoogfrequenttrap vooraf, dan zijn demping en roosterstroom toelaatbaar en is dus een triode met hooge versterkingsfactor, zooals de *E 499*, goed bruikbaar als plaatdetector. Daar bij plaatdetectie gebruik gemaakt wordt van de kromming van de I_a-V_g karakteristiek, is het hiervoor van belang lampen met zoo weinig mogelijk Inselbildung te gebruiken, aan welke eisch door de *E 446* en de *E 499* voldaan wordt.

Bij roosterdetectie wordt gebruik gemaakt van de kromming van de I_g-V_g karakteristiek. Bij groote h.f.signalen zal echter ook plaatdetectie optreden, welke de roosterdetectie tegenwerkt en overbelasting veroorzaakt. Dit is te vermijden door de detectiewerking en de laagfrequentversterkerwerking, welke in de roosterdetector gecombineerd zijn, te scheiden. Hiertoe wordt een diode gebruikt voor detectie en de door de detectie ontstane laagfrequent-spanningen naar het rooster van de laagfrequent-lamp gevoerd, terwijl de hoogfrequentspanningen onderdrukt worden. Door de diode bij de versterkerlamp in te bouwen op een gemeenschappelijke kathode zijn de *binoden* ontstaan. Door de groote hoogfrequentsignalen, welke de diodedetector kan verwerken, kan ook een groote gelijkspanning door de detectie ontstaan, welke naar de roosters van de hoogfrequent-

lampen gevoerd kan worden om automatische volumeregeling te verkrijgen. Het kan soms gewenscht zijn afzonderlijke dioden voor de detectie en voor de automatische volumeregeling te gebruiken. Het is dan nl. mogelijk aan de tweede diode eenige negatieve voorspanning te geven, waardoor de automatische volumeregeling pas begint te werken als het signaal een bepaalde sterkte overschreden heeft (z.g. vertraagde automatische volumeregeling). Voor dit doel zijn lampen ontstaan met twee ingebouwde dioden.

Eindlampen.

Als eindlampen worden veel penthoden gebruikt, welke in de laatste tijd ook in indirect verhitte uitvoering zijn gemaakt om de brom te verminderen.

Een nieuwe ontwikkeling is de z.g. klasse-B versterking. Worden twee eindlampen in push-pull gebruikt, waarbij de negatieve roosterspanning zoo groot gekozen wordt, dat zonder signaal maar zeer weinig anodestroom loopt, dan wordt gesproken van klasse-B versterking, in tegenstelling met het gebruik van de lampen in het „rechte" deel van hun karakteristieken, wat met klasse-A versterking wordt aangeduid. Bij klasse-B versterking versterkt de eene lamp de eene helft van de roosterwisselspanning en de andere lamp de andere helft, welke beide helften in de uitgangstransformator weer worden samengevoegd. De grootte van de anodegelijkstroom hangt hierbij af van de signaalsterkte, waardoor de gemiddelde anodegelijkstroom kleiner is dan bij klasse-A versterking. Dit is vooral voor batterij-apparaten belangrijk, omdat daardoor de levensduur van de batterijen toeneemt. Door de wisselende anodegelijkstroom moet de inwendige weerstand van de anodevoeding voldoende klein gehouden worden om geen terugwerking op andere deelen van het apparaat te krijgen. Om geen negatieve roosterspanning toe te passen, wat in net-apparaten door de sterk wisselende anodegelijkstroom bezwaarlijk gaat, worden vaak twee trioden met een hooge versterkingsfactor gebruikt, welke zonder roostervoorspanning op de gewenschte anodestroom zijn ingesteld. Daar er dan roosterstroomen vloeien, is veelal nog een extra laagfrequentlamp noodig om de voor de roosterstroomen benoodigde energie te leveren. Wordt wel negatieve roosterspanning toegepast en wordt zonder roosterstroomen gewerkt, dan wordt soms niet gesproken van klasse-B versterking,

maar van quiescent push-pull (Q. P. P.), wat bij batterij-apparaten toepassing vindt. Hiervoor worden vaak twee penthoden gebruikt. De beide benoodigde trioden of penthoden worden in vele gevallen in één ballon samengebouwd.

Eindhoven, 25 April 1934.

TETRODEKOPPELING BIJ LAAGFREQUENT — EN GELIJKSTROOM VERSTERKING

door

Dr. H. C. HUIZING

SUMMARY

A low frequency and direct current amplifier is described, in which a space — charge tetrode in saturation condition is used as a coupling device in such a way that the internal differential anode resistance is very large as compared with the direct current resistance. With a Philips screened grid valve E 446 as an amplifier valve and a space-charge grid valve A 441 as a coupling element it is possible to obtain a gain of 2500 × per stage for low frequency or direct current voltages when using normal battery voltages. A uniform amplification of some hundred times on the audible range may be obtained after suitable adjusting if special care is taken as regards parasitic capacities.

Inleiding. Van de verschillende methoden voor spanningsversterking van lage frequenties hebben die met transformatorkoppeling en die met weerstandskoppeling het meeste ingang gevonden. Beide schakelingen hebben nog hun bezwaren, de eerste vanwege de minder goede frequentiekarakteristiek en de tweede door het spanningsverlies over de koppelweerstand.

Deze bezwaren zijn sinds de ontwikkeling der schermroosterlamp meer naar voren getreden. Wil men b.v. bij weerstandskoppeling de groote versterkingsfactor van dit lamptype be-

nutten, dan is men aangewezen op zeer groote koppelweerstanden, welke ter compensatie van de spanningsval daarover, een anodebatterij van eenige duizenden volts noodig zouden maken. Houdt men zich aan de gewone spanningen tot 200 V, dan bereikt men een 110- à 200-voudige versterking. Dit is in absolute waarde wel belangrijk meer dan bij weerstandskoppeling met trioden mogelijk is, doch uit een oogpunt van versterkingsrendement is het ongunstig.

Hierin verbetering te brengen, komt dus neer op het vinden van een koppelelement met zeer lage gelijkstroomweerstand en tegelijkertijd een zeer hooge weerstand voor stroomverandering. Voor hoogfrequentversterking hebben we dit in de sperkringkoppeling. Dezelfde methode, bij laagfrequentversterking bekend onder de naam smoorspoelversterking, vindt daar weinig toepassing, omdat de gezochte eigenschap in het algemeen voor het geheele hoorbare frequentiespectrum vereischt wordt. Inderdaad is door smoorspoelkoppeling achter een schermroosterlamp grootere versterking te bereiken zonder vergrooting der anodebatterij; echter alleen voor een smalle frequentieband.

Een geheel andere oplossing van dit vraagstuk is te vinden in de eigenschappen van de lamp zelf. Onder bepaalde voorwaarden is het n.l. mogelijk een lamp een zeer groote inwendige weerstand voor stroomveranderingen, in 't vervolg als differentiaalweerstand aangeduid, te geven, terwijl de gewone gelijkstroomweerstand gering is. Wij hebben dan de eigenschap van de smoorspoel, echter met dit voordeel dat de differentiaalweerstand onafhankelijk is van de frequentie. Het gebruik voor dit doel van een schermroosterlamp, waarbij deze grootheid immers een hooge waarde heeft, is nader beschreven door eenige Amerikaansche onderzoekers [1]), die zeer groote versterkingen (500 tot 2500 maal per trap) hebben verkregen met batterijspanningen, varieerende van 300—750 V.

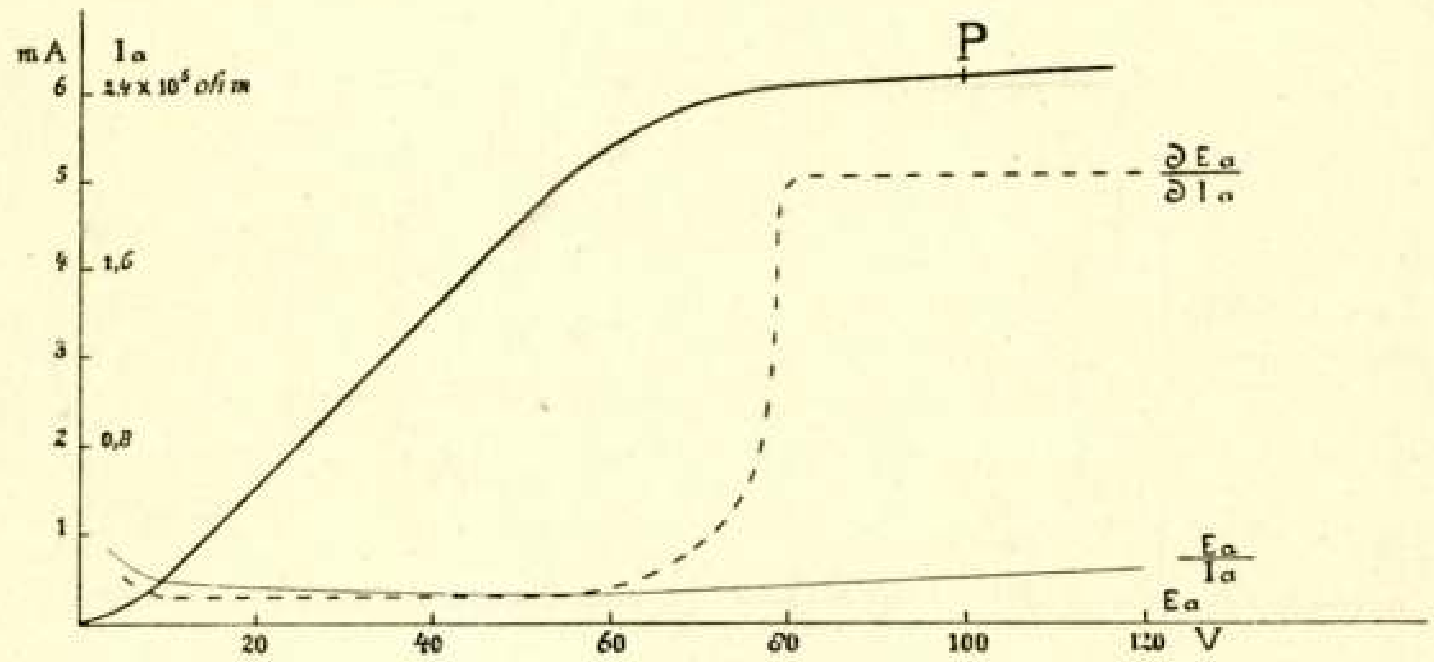
Methodiek. Voor het verkrijgen van een groote differentiaalweerstand is men echter niet uitsluitend aangewezen op een schermroosterlamp, doch dit is ook te bereiken met een triode door gebruik te maken van de limiterwerking. Deze mogelijkheid is reeds in 1920 door Mills geopperd en in een patent vastgelegd; in de literatuur komt men het overigens niet tegen.

---

[1]) E. R. Meissner: Electronics Vol. 6 1933 p. 195.
J. W. Horton: Journ. Frankl. Inst. Vol. 216 1933 p. 749.
O. H. A. Schmitt: Rev. Scient. Instr. Vol. 4 1933 p. 661.

Een verdere vergrooting van de inwendige differentiaalweerstand valt nu te bereiken door gebruik te maken van een ruimteladingsrooster en dan in het verzadigingsgebied te werken. Hierop willen we thans nader ingaan.

Beschouwen we in fig. 1 een willekeurige plaatstroomplaatspanningskarakteristiek en daarbij het verloop van de inwendige gelijkstroomweerstand $\frac{Ea}{Ia}$ en dat van de inwendige differentiaalweerstand $\frac{\partial Ea}{\partial Ia}$. Hieruit zien wij dat deze beide weerstanden belangrijk gaan uiteenloopen als de verzadigingstoestand intreedt. Beschouwen wij beide waarden voor het punt P, dan vinden wij voor de verhouding $\frac{\frac{\partial Ia}{\partial Ea}}{\frac{Ea}{Ia}} = \varrho$ de waarde 10. Deze verhou-



Figuur 1.

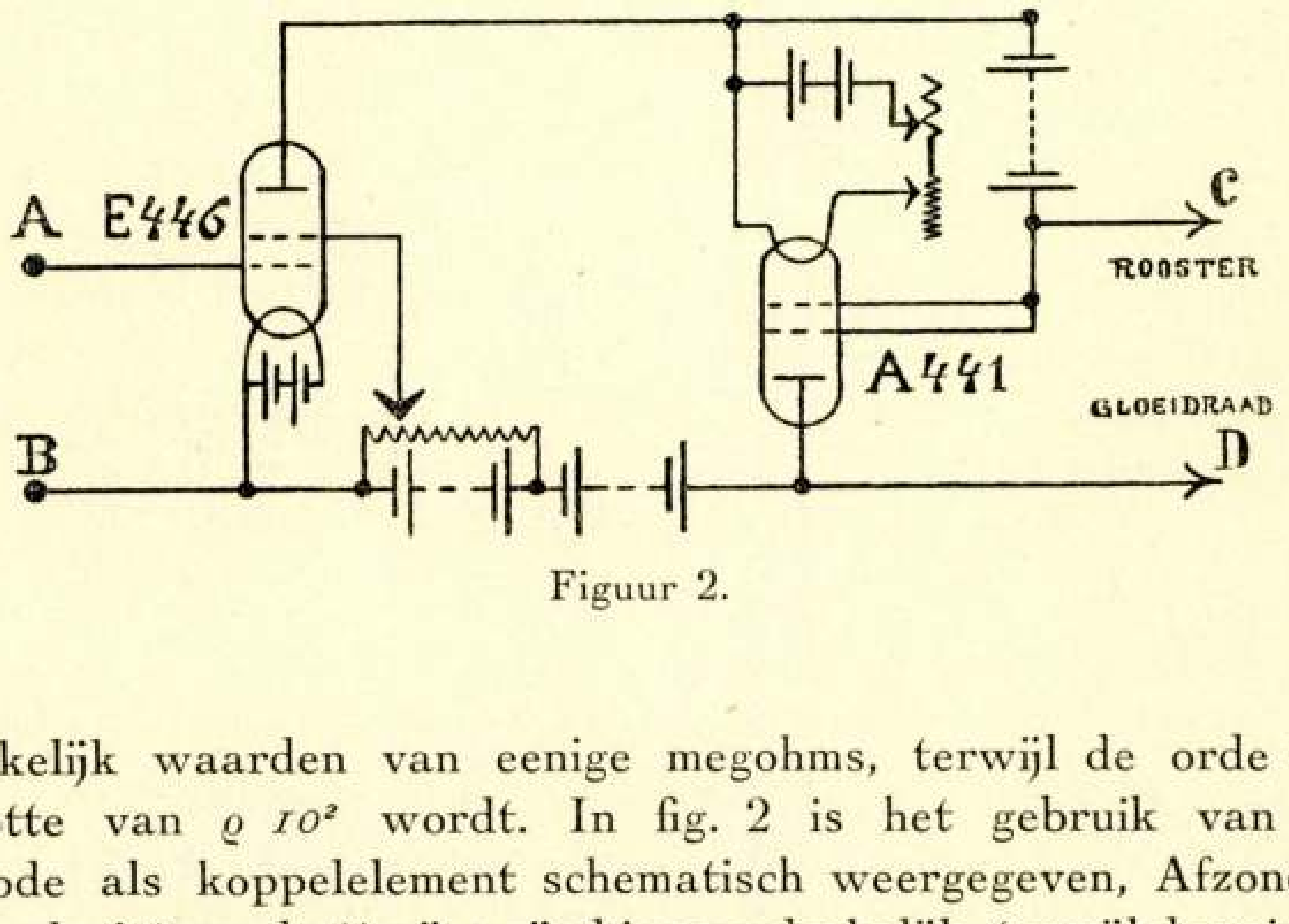
ding speelt hier dus de rol van de kwaliteitsfactor $\frac{\omega L}{R}$ bij een smoorspoel.

De vraag is nu op welke wijze deze weerstandsverhouding gunstiger gemaakt kan worden. Beschouwen wij het verzadigingsgebied van de karakteristiek, dan blijkt deze verzadiging niet volkomen te zijn. Geringe toename van de anodestroom blijft mogelijk. Dit verschijnsel kan verklaard worden, doordat de emissie eenigermate afhangt van de sterkte van het electrostatisch veld om de kathode, hetgeen het eerst onderzocht is door Schottky [1]). Deze vond voor wolfram bij een bepaalde gloeitemperatuur

[1]) W. Schottky: Phys. Zeitschr. 1914 Bd. 15 p. 872.

de emissiestroom $i = i_o . e^{const \sqrt{\frac{dV}{dx}}}$ indien i_o de emissiestroom is bij een veldsterkte $\frac{dV}{dx} = o$. Toename van de uitwendige veldsterkte vermindert blijkbaar de arbeid, welke noodig is om een electron uit de kathode vrij te maken. Het is bekend dat bij oxydkathoden de verzadiging minder volkomen is dan bij wolfram, zoodat bij het moderne lamptype ϱ kleiner is. Ook kunnen secundaire emissieverschijnselen de waarde van ϱ verminderen.

Een betere verzadigingstoestand valt nu te bereiken met behulp van een ruimteladingsrooster. Door dit rooster een hooge positieve spanning te geven wordt de invloed op de kathode van veranderingen in de anodespanning geneutraliseerd. De inwendige differentiaalweerstand bij verzadiging bereikt nu ge-



Figuur 2.

makkelijk waarden van eenige megohms, terwijl de orde van grootte van ϱ 10^2 wordt. In fig. 2 is het gebruik van een tetrode als koppelelement schematisch weergegeven, Afzonderlijke gloeistroombatterijen zijn hier noodzakelijk, terwijl de ruimteladingsroosterspanning met een afzonderlijke batterij volkomen constant wordt gehouden. Het stuurrooster van de koppellamp wordt doorverbonden aan het ruimteladingsrooster [1]). Hoofdzaak is nu het instellen van de koppellamp in verzadigingstoestand d. w. z. de plaatstroom der versterkerlamp moet tevens verzadigingsplaatstroom der koppellamp zijn. In fig. 2 is deze

[1]) Een triode, waarbij het rooster als ruimteladingsrooster uitgevoerd is, kan dus ook dienst doen.

instelling mogelijk door grof- en fijnregeling van de gloeidraadtemperatuur van de koppellamp, terwijl van de versterkerlamp de schermroosterspanning regelbaar is gehouden voor gunstigste aanpassing.

De bekende eigenschap van de R-tetrode, n.l. de lage anodespanning, biedt nu ook hier voordeel, daar de anodeketens der twee lampen in serie staan. De anodebatterij behoeft nu slechts weinig grooter te zijn dan voor de versterkerlamp alleen om de koppellamp in verzadigingstoestand te kunnen instellen. Dit brengt een tweede voordeel mede, indien b.v. een eindlamp volgt. Men sluit dan rooster en gloeidraad van de eindlamp resp. aan op het ruimteladingsrooster en de plaat van de koppellamp. Het verschil in potentiaal tusschen plaat en ruimteladingsrooster doet dan dienst als negatieve voorspanning voor de eindlamp, zoodat geen scheidingscondensator noodig is.

Resultaten. Met een schema volgens fig. 2 waarin een E 446 als versterker en een A 441 als koppellamp gebruikt wordt, valt een versterking tot 2500 maal [1]) te bereiken voor de laagste frequenties bij een anodebatterij van bijv. 160 V en 20 V spanning voor het ruimteladingsrooster; anodestroom 0.3 mA, zoodat de gloeitemperatuur van de A 441 zeer laag is [2]). Het is duidelijk dat voor hoogere frequenties de weerstand van capacitieve lekken spoedig vergelijkbaar wordt ten opzichte van de zeer hooge differentiaalweerstand der koppellamp, waardoor de versterking afvalt. Wenscht men echter uniforme versterking in het laagfrequente gebied, dan verkrijgt men dit eenvoudig door de koppelingsweerstand te verminderen, in dit geval door verlaging van de spanning van het ruimteladingsrooster. Men kan bijv. een 400-voudige versterking verkrijgen voor $n = 0 - 5000 \ sec^{-1}$, die dan hoogerop langzaam afvalt. Is men met kleinere versterking tevreden dan kan deze gelijkmatigheid voor nog hoogere tonen worden doorgevoerd. Met het oog op de lineariteit en voor een behoorlijke ruimte dient steeds ingesteld te worden op het midden van het verzadigingsgebied, dat immers eenerzijds door de bovenste bocht en anderzijds door secondaire plaat-emissie begrensd wordt.

Conclusie. De beschreven methode schept dus de mogelijkheid

---

[1]) De versterking werd gemeten met een Braunsche buis.

[2]) Oude lampen met verminderde emissie kunnen dus uitstekend als koppelelement worden gebruikt; ook een oude Siemens Schottky lamp gaf zeer goede resultaten.

langzaam veranderlijke spanningen [1]), zooals deze bij physiologische metingen in 't bijzonder voorkomen, eenige duizenden malen per trap te versterken, terwijl op eenvoudige wijze overgegaan kan worden op volkomen uniforme versterking van eenige honderden malen voor de allerlaagste tot zeer hooge tonen. De constructie van een speciale lamp voor koppelingsdoeleinden zou de resultaten nog kunnen verbeteren.

Otologisch Laboratorium.

Groningen, Juni 1934.

[1]) De behoefte aan een dergelijke versterker deed zich voor bij het registreeren van zwakke trillingen van een zeer lage stemvork.

TOELAATBARE NIET-LINEAIRE VERVORMING BIJ GELUIDSREPRODUCTIE

door

H. G. BELJERS

Summary: It is supposed that the quality of a complex audio signal reproduced by a non-linear system is principally injured by the introduced combination-tones (sum- and difference tones) and not in the first place by a change in the harmonic content of each tone.

Especially frequencies below 100 cycles/sec. are inclined to disturb the quality by an unfavourable modulation-effect (intensity fluctuation) on the higher tones. In connection with this an investigation has been made about the perceptible limit of modulations of pure tones by different frequencies and intensity. It appeared that only $1-1\frac{1}{2}$ % distortion is permitted for these low frequencies.

Inleiding: Het eenvoudigste geval van een niet-lineaire geluidsversterker is de enkelvoudige triode (A-versterker).

Door de plaat-impedantie en de roostervoorspanning juist te kiezen, kan men de lamp zo instellen, dat bij volle uitsturing een bepaalde vervorming niet overschreden wordt en het geleverde vermogen zo groot mogelijk is. Het rendement neemt echter af met de toegelaten vervorming of klirrfactor.[1])

Het eenvoudigste geval waarbij combinatie-tonen optreden, n.l. bij niet-lineaire versterking van twee zuivere sinustonen, kan men als volgt mathematisch inzien:

De arbeids-karakteristiek van de lamp is door de volgende reeks voor te stellen:

$$i = i_o + \alpha V_g + \beta V_g^2 + \gamma V_g^3 + \ldots\ldots \qquad (1)$$

---

[1]) Zie: H. Barkhausen: Elektronen-Röhren 2. Band.

Het blijkt voor deze beschouwing voldoende de reeks af te breken na $\beta V_g^2 \ldots$ (zie fig. 1).

Zij het te versterken signaal:

$$V_g = V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t \ldots \quad (2)$$

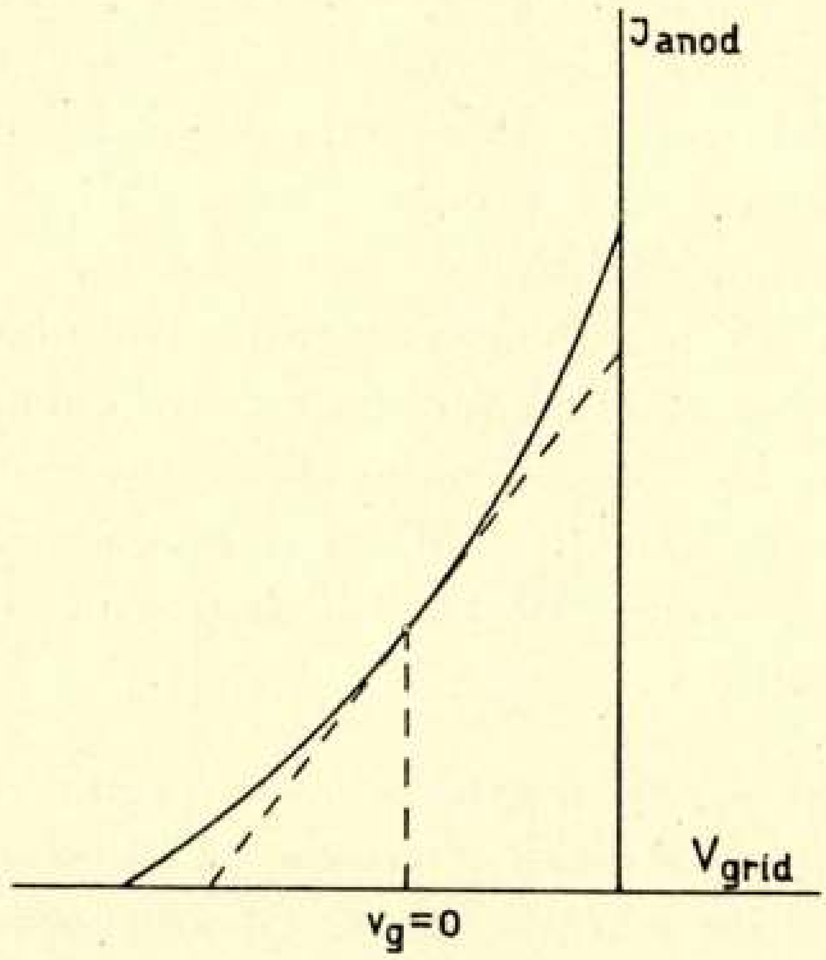
waarbij $\omega_2 > \omega_1$.

Gesubstitueerd in (1) krijgt men:

$$i = i_o + \frac{\beta}{2}(V_1^2 + V_2^2) + a V_1 \cos \omega_1 t + a V_2 \cos \omega_2 t +$$

$$+ \frac{\beta}{2} V_1^2 \cos 2 \omega_1 t + \frac{\beta}{2} V_2^2 \cos 2 \omega_2 t + \beta V_1 V_2 \cos (\omega_2 + \omega_1) t +$$

$$+ \beta V_1 V_2 \cos (\omega_2 - \omega_1) t \quad (3)$$



Figuur 1.

Neemt men ook de hogere afgeleiden van de karakteristiek in acht dan blijkt dat er voor elke zuivere toon een reeks hogere harmonische ontstaan en bovendien vele combinatie-tonen (som- en verschiltonen) bv. $\omega_2 \pm \omega_1$, $\omega_2 \pm 2 \omega_1$, $2 \omega_2 \pm \omega_1$ enz.

Nemen we thans de hoge toon ω_2 en de naburige $\omega_2 \pm \omega_1$ bijeen als volgt:

$$a V_2 \cos \omega_2 t + \beta V_1 V_2 \cos (\omega_2 + \omega_1) t + \beta V_1 V_2 \cos (\omega_2 - \omega_1) t =$$

$$= a V_2 \cos \omega_2 t \left(1 + \frac{2\beta}{a} V_1 \cos \omega_1 t\right) = a V_2 \cos \omega_2 t (1 + m \cos \omega_1 t)$$

Het blijkt dus dat de hoge toon is gemoduleerd, door de

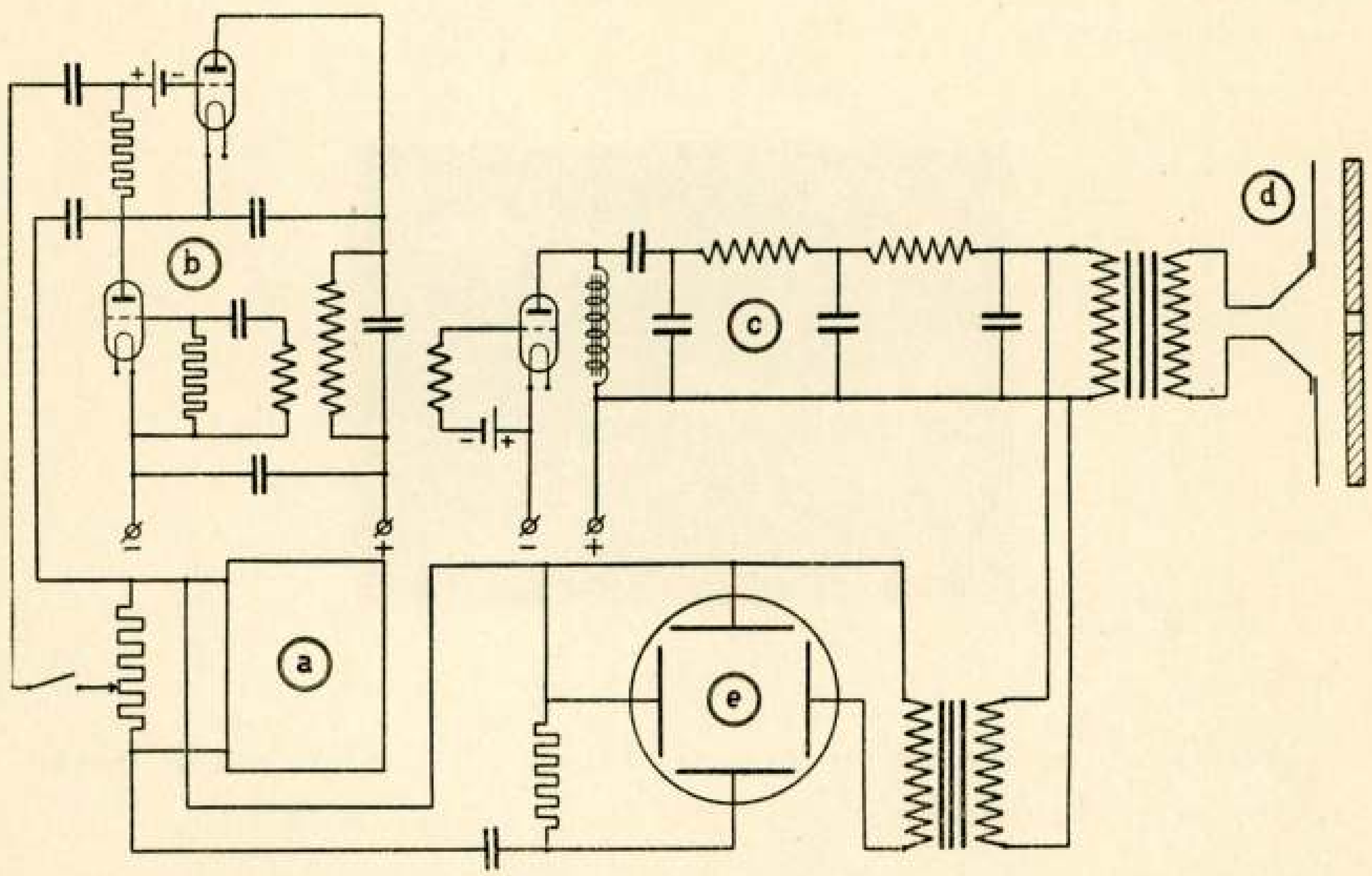
aanwezigheid van de lage, hetgeen men ook direct uit een figuur kan inzien. De hoge toon wordt nl. versterkt met een steeds wisselende steilheid.

De verkregen modulatiediepte (gedefinieerd als in h.f. techniek) is evenredig met amplitude van lage toon $m = \frac{2\beta}{a} V_1$.

De vervormingsfactor is gedefinieerd als

$k = \frac{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I}$ waarbij $I_1, I_2\, I_3 \dots$ de amplituden der hogere harmonische zijn.

In dit geval is de vervorming $k = \frac{\beta}{2} V_1^2 \cdot \frac{1}{a V_1} = \frac{\beta V_1}{2a}$.



Figuur 2.

Men ziet dus dat lage tonen met een eigen vervorming k, alle andere tonen een modulatiediepte $m = 4\,k$ geven.

Het bleek dus nodig een onderzoek in te stellen in hoeverre zulke modulaties toelaatbaar zijn.

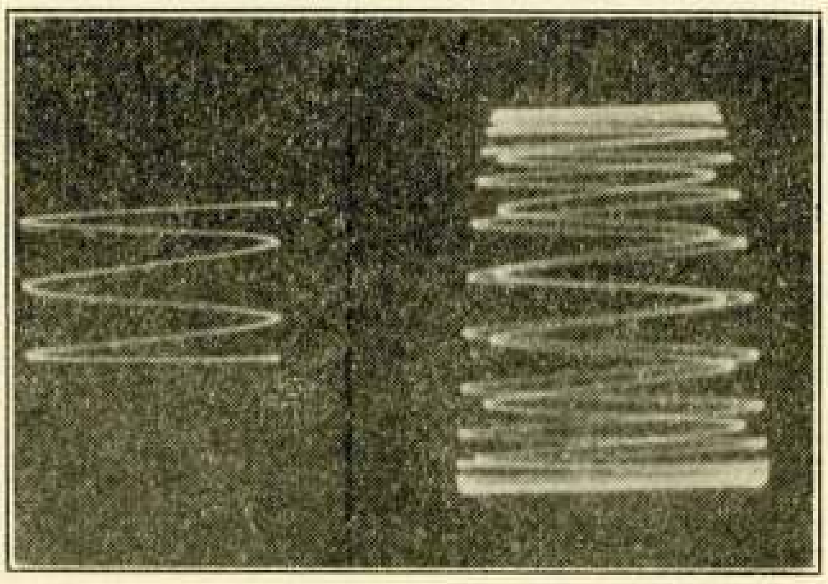
Zuivere tonen werden sinusvormig gemoduleerd met verschillende modul. frequenties (1–200 Hertz). Terwijl de lage toon niet aanwezig was, werd de minimale modulatie diepte m bepaald die de toon moet hebben om onderscheiden te kunnen worden van de zuivere ongemoduleerde toon.

Voor enkele gevallen werd de invloed nagegaan, die de aanwezigheid van de lage toon met zekere intensiteit op bovengenoemde grens had.

Beschrijving van de apparatuur (zie fig. 2):

a) *Interferentiegenerator voor sinusspanningen van 1—200 Hertz.* Deze bestaat uit: twee triodegenerators, één van 5000 Hertz en één regelbaar van 5000 tot 4800 Hertz. Na tetrode-detectie, low-passfilter en versterking, werd de verschilfrequentie verkregen welke door juiste instelling vrij gemaakt kan worden van even harmonische.

b) *Een generator* voor zuivere tonen van verschillende frequenties. Deze wordt amplitude-gemoduleerd door de spanning van (*a*) door middel van een modulator-lamp, die in de plaatkring is opgenomen.



Figuur 3.

c) *Triode versterker* en low-passfilter. Dit laatste om de boventonen te onderdrukken.

d. Een *electro-dynamische luidspreker* van goede kwaliteit. Op korte afstand van de conus wordt de toon beluisterd, door een opening in een plaat van geluidsabsorberend materiaal (celotex).

e. Een *katodestraal oscillograaf*, waarmede de modulatie-diepte *m*, gemeten wordt.

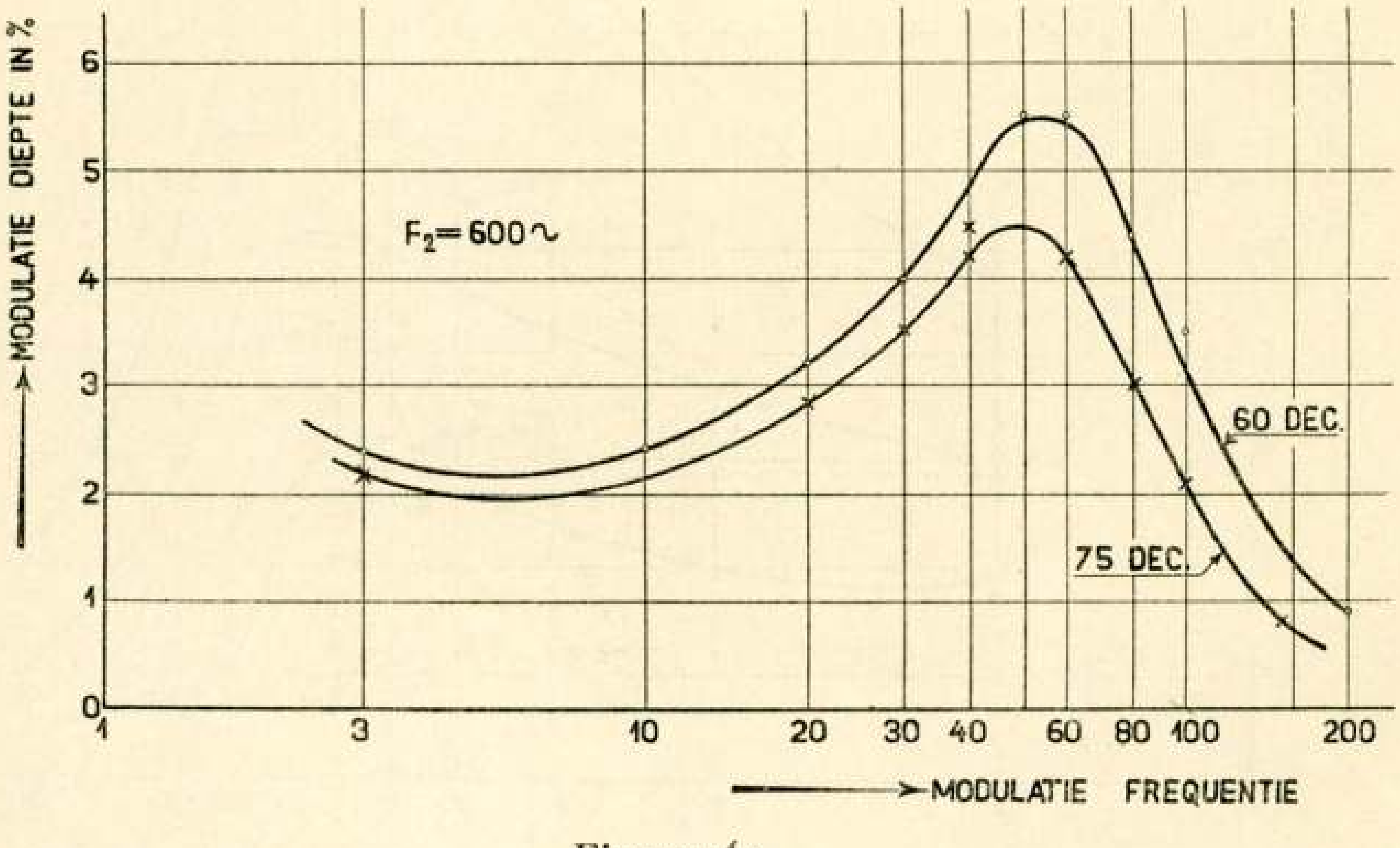
Op loodrechte assen worden aangegeven de gemoduleerde toon (horizontaal) en de modulerende spanning (verticaal). Is er geen fase verschuiving tussen modulatie en modulatiespanning, dan is het resultaat een trapezium-figuur. De invloed van een phaseverschuiving is een elliptische begrenzing van de amplitudes (zie photo's van fig. 3).

De modulatiediepte wordt bepaald door de verhouding van de maximum en minimum amplitude, welke direct met millimeterpapier uitgemeten worden.

De mogelijke absolute fout in 't percentage is ± *0 1* %.

Het vaststellen van de toonintensiteit is gebeurd met een geijkte bandmicrofoon ter plaatse, waar gedurende de meting geluisterd werd. Op deze manier wordt gevonden de spanning op de luidsprekerklemmen, corresponderende met de drempelintensiteit van het geluid (10^{-16} Watt cm.), als functie van de frequentie.

De intensiteit van de toon is in 't volgende gegeven in decibels boven 10^{-16} Watt/cm., dus het „intensity level".



Figuur 4 a.

De afwijking van het „loudness level" is in de meeste gevallen gering en nooit meer dan 5 dec. voor de gebruikte tonen (Zie hiervoor: H. Fletscher and W. Munson: Journ. of the Acoustical Society of America, Oct. 1933 pp. 82—108).

Het optreden van frequentie-modulatie bij generator (b) is van geen betekenis, Bij 5 % amplitude-modulatie van een 1000 per. toon is de afwijking 0,15 per. van de gemiddelde frequentie.

Experimentele resultaten:

Fig. 4 geeft gemiddelde krommen voor de minimum hoorbare modulatie in % als functie van de modulatiefrequentie.

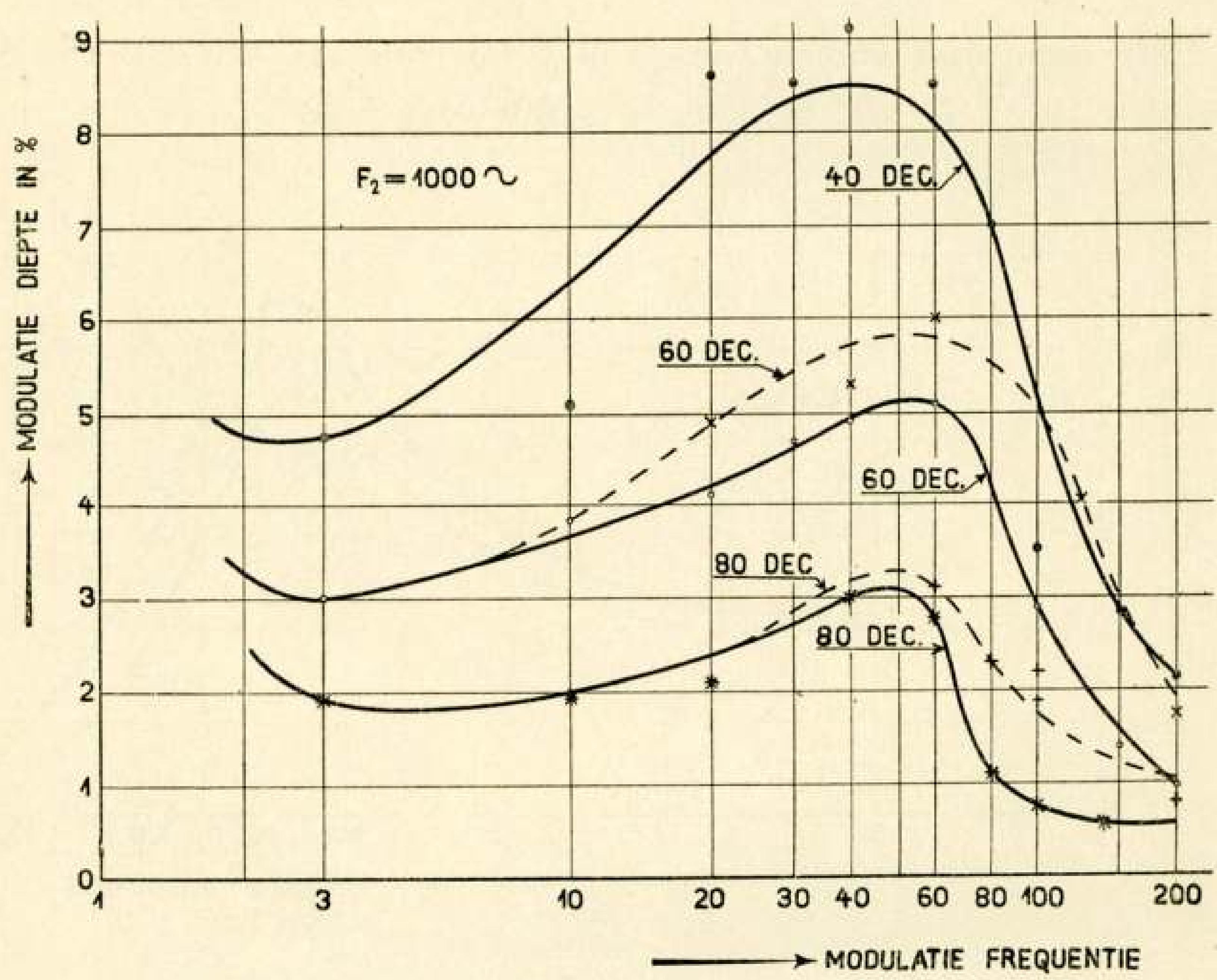
Gemoduleerde tonen van freq. 600—1000—1800—3000—4500 werden onderzocht.

Enkele krommen zijn door meerdere waarnemers gecontroleerd. Individueele afwijkingen bleken te bestaan, doch niet belangrijk te zijn.

Naar het karakter van de gemoduleerde toon kan men 3 gebieden onderscheiden.

1) *Gebied van de langzame zwevingen* (mod. freq. van 1 tot ± 10).

De drempelwaarde van *m* wordt bepaald door de gevoelig-



Figuur 4 b.

heid van het oor voor geringe intensiteitsverschillen van zuivere tonen.[1]) Hierbij moet men bedenken, dat de relatieve intensiteitsverandering $\frac{\triangle E}{E} = 4\,m$, in verband met de definitie van *m*.

Het blijkt, dat zwevingen van een frequentie 3 tot 5 een minimale $\frac{\triangle E}{E}$ nodig hebben om te worden waargenomen.

2) *Gebied van de snelle zwevingen* (mod. freq. 10 tot ± 80).

Bij stijgende modulatie-frequentie worden de zwevingen niet

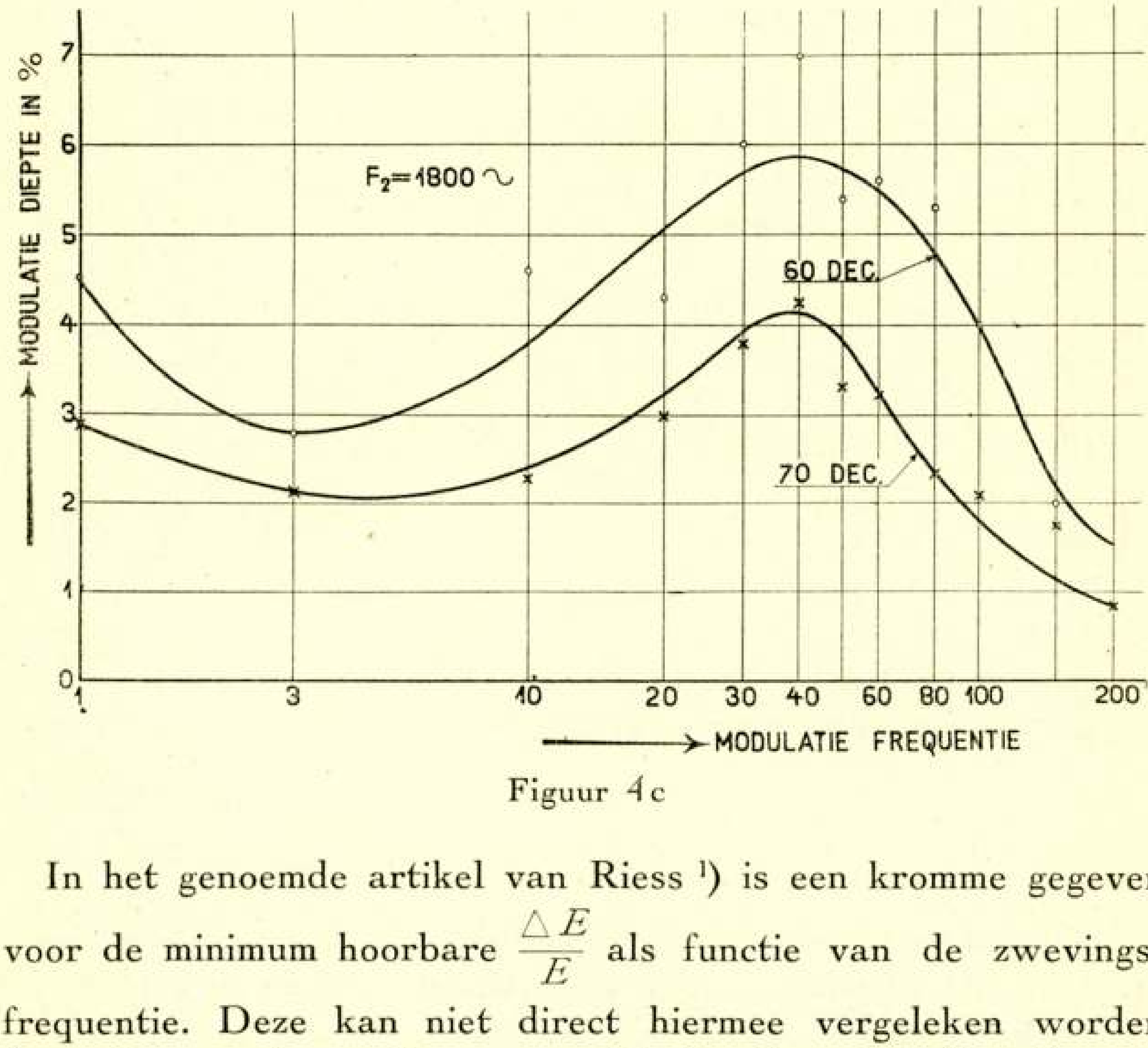
[1]) Zie hiervoor: R. R. Riess, Differential Intensity Sensivity of the Ear for pure tones. The Phys. Review Vol. 31 pp. 867.

meer als zodanig gehoord, doch de toon krijgt een onaangenaam schor karakter (ratelen, rafelen).

De hoorbaarheidsgrens hiervan ligt zeer dicht bij storingsgrens. De drempelwaarde is intussen gestegen en vertoont een maximum in de buurt van 40 tot 60 per.

De plaats hiervan hangt in het onderzochte gebied slechts weinig af van de toonfrequentie.

De maximale waarde van m die bereikt wordt schijnt ongeveer parallel te gaan met de oorgevoeligheid voor de frequentie van de gemoduleerde toon (dus geringe toename bij 600 en 4500 per). Bij 60 dec. is maximale drempelwaarde steeds ± 5 %.



Figuur 4c

In het genoemde artikel van Riess [1]) is een kromme gegeven voor de minimum hoorbare $\frac{\triangle E}{E}$ als functie van de zwevingsfrequentie. Deze kan niet direct hiermee vergeleken worden daar de zwevingen daar gemaakt zijn door interferentie van 2 tonen wat niet identiek is met sinusvormige modulatie.

3) *Gebied der afzonderlijke tonen:* Boven een modulatiefrequentie van ongeveer 60 per. is het oor in staat de gemoduleerde toon „op te lossen" in de tonen waaruit deze bij een Fourier analyse blijkt te bestaan.

---

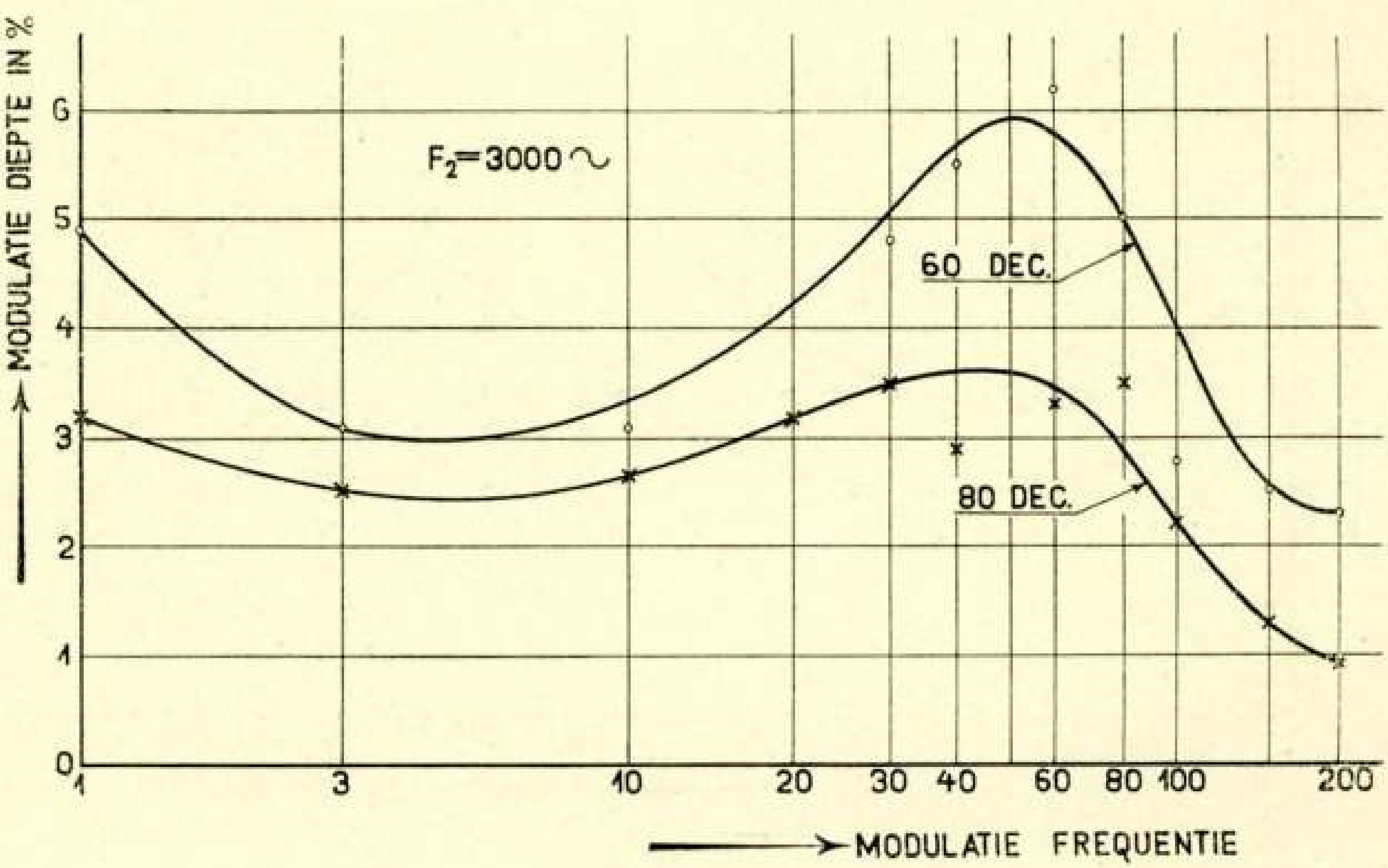
[1]) Zie hiervoor: R. R. Riess, Differential Intensity Sensivity of the Ear for pure tones. The Phys. Review Vol. 31 pp. 867.

$$A\,(1 + m \cos \omega_1 t) \cos \omega_2 t = A \cos \omega_2 t + \frac{m}{2} A \cos (\omega_2 - \omega_1)\, t + $$
$$+ \frac{m}{2} A \cos (\omega_2 + \omega_1)\, t$$

Door de onsymmetrische vorm van de verdovingskromme (zie verder) kan men de lage „zijband" in de eerste plaats apart onderscheiden. De drempelwaarde van m bepaald door de hoorbaarheid hiervan, daalt sterk in dit gebied.

Het verband met het verdovingseffect en de resonnantie-theorie van het oor:

De hoorbaarheid van zwevingen, geproduceerd door twee



Figuur 4d

naburige tonen, (wat ook de methode van Riess was) komt neer op het bepalen van de verdovingskromme van een zuivere toon door een andere (secundaire toon).

Om bovenstaande resultaten hiermee te vergelijken is deze verdovingskromme bepaald door dezelfde waarnemer voor een bepaald geval nl. een primaire toon van 1000 per. en 60 dec.

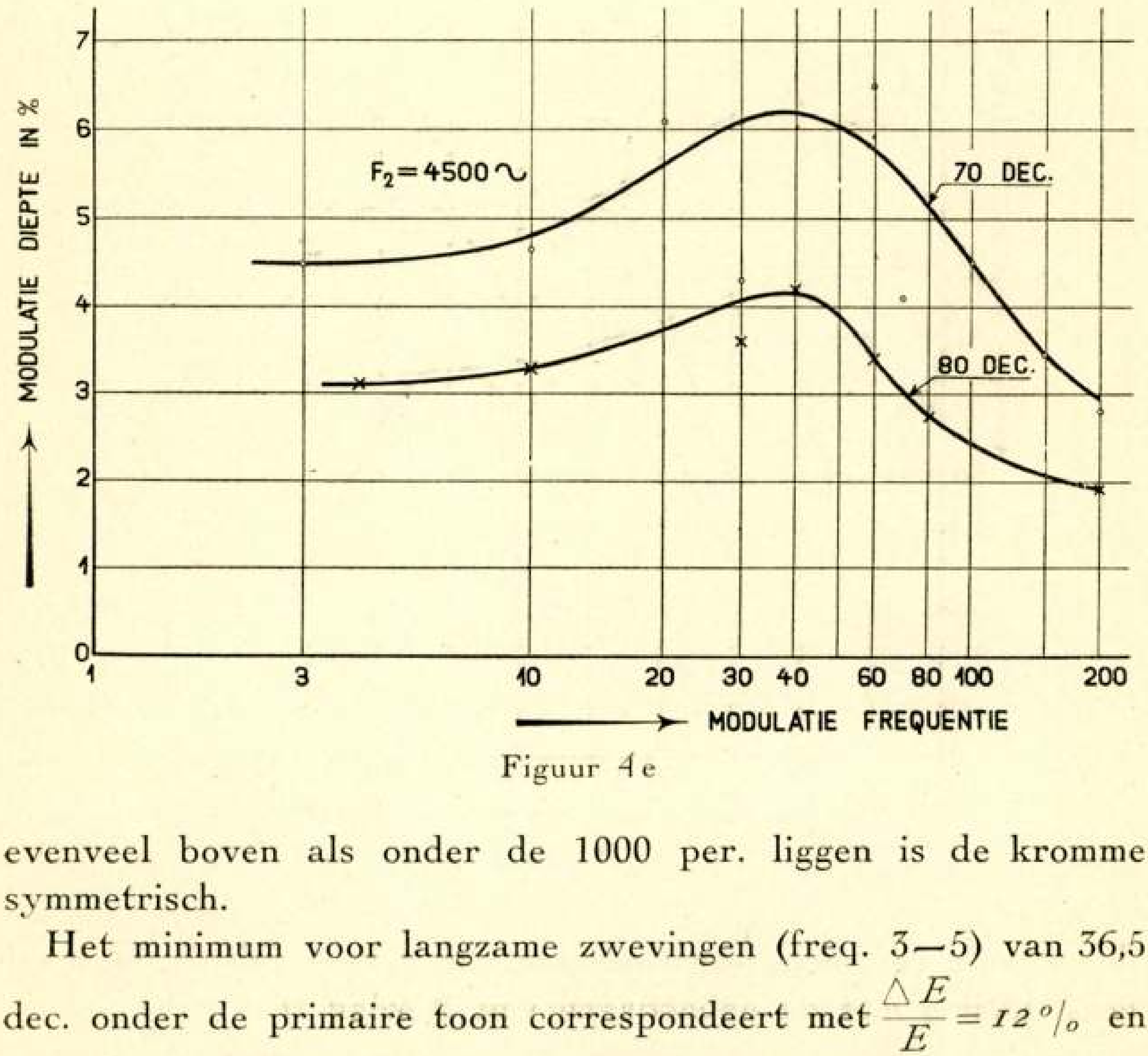
Kromme a in fig. 5 geeft aan het minimale „intensity level" van een secondaire toon om bij verschillende freq. naast de primaire waargenomen te kunnen worden. Hierbij zijn dezelfde gebieden te onderscheiden als bij de sinusvormige modulatie.

Het minimum van 30,5 dec. onder de primaire toon voor lang-

zame zwevingen komt overeen met een gevoeligheid voor intensiteitsverschillen $\frac{\triangle E}{E} = 12\,\%$ (een toename van $\frac{\triangle E}{E}$ voor zwevingen beneden 3 per sec. is niet aangegeven in fig. 5).

Men neemt wel aan dat deze kromme, afgezien van het gebied der zwevingen een maat geeft voor de verdeling van de amplitude langs het basilaar membraan (in inwendig oor) bij het horen van een zuivere toon [1]).

Een sinusvormige modulatie daarentegen bevat twee secondaire tonen, waarvan kromme β de drempelwaarde aangeeft in decibels. Daar deze tonen gelijke amplitude hebben en hun frequenties



Figuur 4e

evenveel boven als onder de 1000 per. liggen is de kromme symmetrisch.

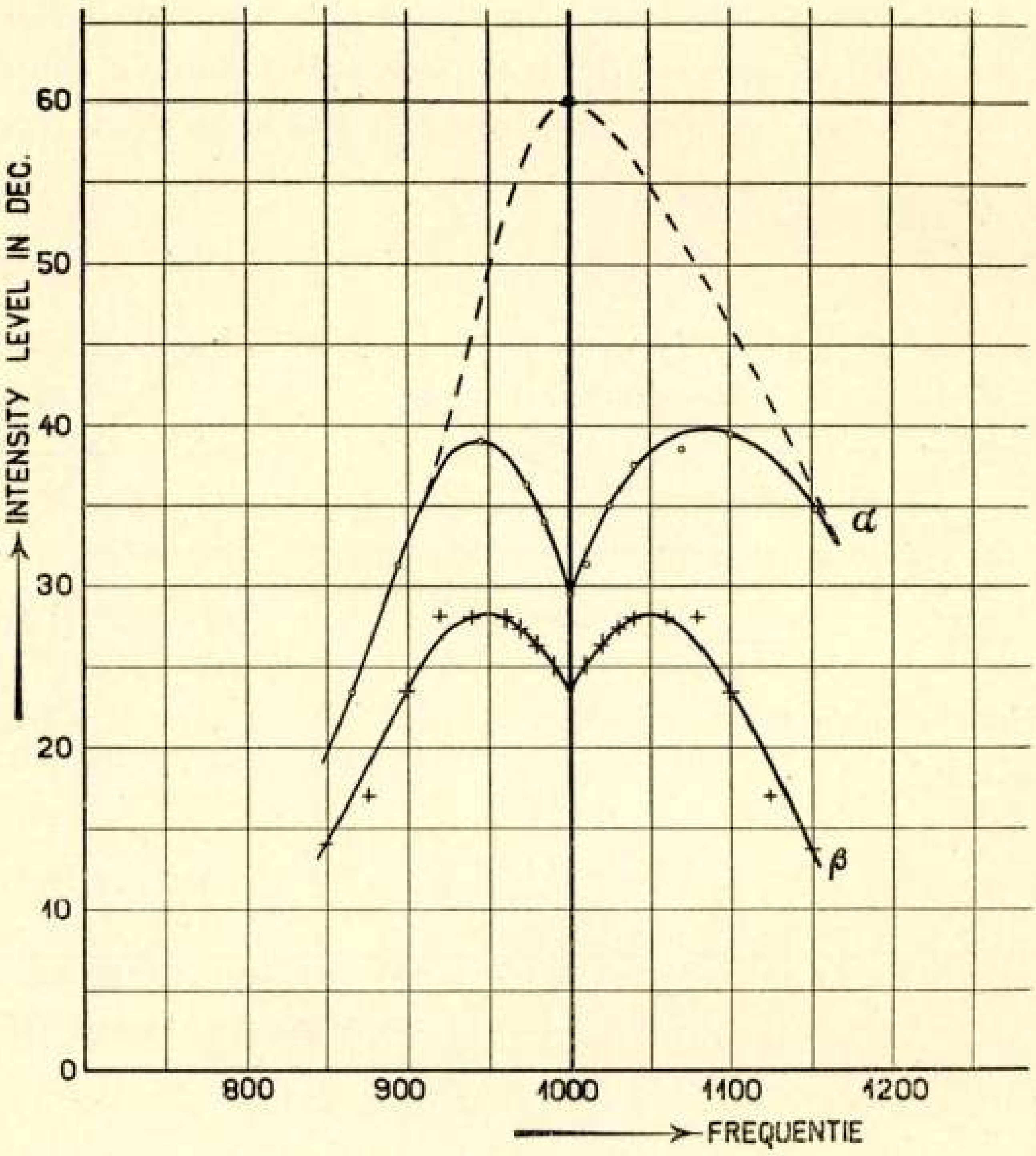
Het minimum voor langzame zwevingen (freq. 3—5) van 36,5 dec. onder de primaire toon correspondeert met $\frac{\triangle E}{E} = 12\,\%$ en $m = 3\,\%$. Het aanvankelijk oplopen van de kromme α en β bij toenemende modul. freq. is waarschijnlijk toe te schrijven aan het uiteenwijken van de punten met maximale stimulatie van de sec. tonen op het basilaar membraan. Een grotere mate van modulatie is dan nodig om voldoende zwevingen op het overlapte gebied te produceren.

---

[1]) R. Wegel and C. Lane, The Phys. Review XXIII pp. 266.

Zodra het mogelijk is de samenstellende tonen te onderscheiden daalt de kromme snel. Pas bij hoge modul. freq. vertoont kromme β neiging zich aan te sluiten bij de laag-frequente zijde van de verdovings-kromme. De hoge secundaire toon kan echter nog steeds niet verwaarloosd worden.

Het is daarom mogelijk, dat het gestimuleerde gebied van het bas. membr. door een zuivere toon belangrijk groter is, dan



Figuur 5.

de gewone verdovings-kromme aan zou geven. Dit is in overeenstemming met de opvattingen van Békésy. [1])

Invloed van de aanwezigheid van lage tonen op de drempelwaarde der modulatie:

Bij het gestelde probleem van de niet-lin. versterker zal het geluid naast vele andere tonen ook de lage toon van de modul. freq. bevatten, voor zover hoorbaar.

[1]) Physik. Zeitschrift: 1928, S. 793.

Om de invloed hiervan na te gaan, is een extra versterker en luidspreker aangebracht, die de lage toon produceerde met zekere constante spanning op de luidsprekerklemmen.

Voor een 1000 per. toon van 60 en 80 dec. zijn nieuwe graphieken bepaald voor de drempelwaarde der modulatie (zie de gestippelde krommen in fig. 4 b).

Het blijkt dat speciaal bij de snelle modulaties, de drempelwaarde stijgt, dus de secund. tonen zijn moeilijker waar te nemen. Bovendien wordt het maximum bij 50 per. iets hoger.

Gevolgen voor de niet-lineaire versterker:

De eisen die gesteld moeten worden aan een versterker, hangen ervan af, of er in het te reproduceren geluid lage tonen (beneden $\pm$ 100 per.) voorkomen of niet. Dit is gewoonlijk niet het geval bij de spraak.

Een onderzoek over de toelaatbare amplitude vervorming bij spraak [1]) toonde aan dat een qualiteitsverandering waarneembaar is, vergeleken met de niet vervormde spraak bij een vervormingsfactor van 5 % voor A-versterkers en 3 % voor B-versterkers. Het moet opgemerkt worden, dat de vervorming gedefinieerd is als die van een zuivere toon, met dezelfde topwaarde als die in het complexe signaal.

Het blijkt dus dat het met de talloze combinatie-tonen praktisch nog al meevalt, zolang niet vele ervan de andere tonen hinderen.

Dit laatste treedt n.l. op, als krachtige tonen van freq. 30—80 voorkomen, wat bij muziek vaak het geval is.

De vervorming is dan begrensd door het optreden van een hinderlijk modulatie-effect, waarvan de hoorbaarheidsgrens dicht bij de storingsgrens ligt en de verdoving door andere tonen gering is.

Als toegelaten wordt een modulatie van 4—6 %, mag een vervorming van $1-1\frac{1}{2}$ % voor een versterker niet overschreden worden.

Ook wat het modulatie-effect betreft is het dus gunstig, hoge en lage tonen te scheiden (b.v. tonen boven en beneden 150 per.) en aparte luidsprekers en versterkers te gebruiken, waarbij een hogere vervorming toegelaten is.

Een balansversterker is, afgezien van zijn derde harmonische, gunstiger wat betreft het modulatie-effect. Hoge tonen worden

---

[1]) F. Massa: Proc. of the Inst. of Radio Eng., pp. 682. May 1933.

n.l. hoofdzakelijk gemoduleerd met de dubbele frequentie van de lage, waardoor tonen beneden 40 per. pas storend worden.

Ten slotte wensch ik mijn dank uit te spreken voor de inspiraties en steun van Prof. Dr. C. Zwikker en de technische adviezen van Ir. L. H. M. Huydts.

Laboratorium voor „Technische Physica" der Technische Hoogeschool.

DELFT, November 1934.

BOEKBESPREKING

„Radio Receiver Measurements", Roy M. Barnard, Iliffe & Sons Ltd London. Prijs 4/6 net.

Het boekje geeft in een kort bestek, de meetmethoden voor ontvangers.

Bijzonder uitvoerig worden behandeld, de gevoeligheid, selectiviteit en natuurgetrouwe weergave.

De meetmethoden, welke beschreven worden, zijn algemeen gehouden en hebben in geenerlei wijze betrekking op bepaalde toestellen of fabrikaten.

Het werkje is in hoofdzaak voor de praktijk bestemd.

W.